

SAÚDE, CIÊNCIA E AMBIENTE: UMA VISÃO BASEADA EM EVIDÊNCIAS



Organizadores:

Veridiana de Almeida Flores de Oliveira
Caroline Wolf Trentini Schipfer
Marciele Alves Bolognese



Compartilhando conhecimento

SAÚDE, CIÊNCIA E AMBIENTE: UMA VISÃO BASEADA EM EVIDÊNCIAS

Organizadores:

Veridiana de Almeida Flores de Oliveira
Caroline Wolf Trentini Schipfer
Marciele Alves Bolognese



Compartilhando conhecimento

ISBN: 978-65-88890-62-2

DOI: 10.63951/synapse978-65-88890-62-2

Editor Chefe

Dr Washington Moreira Cavalcanti

Conselho Editorial

Dr. Washington Moreira Cavalcanti

Dra. Lais Brito Cangussu

Dr. Jean Andrade Canestri

Dr. Rômulo Maziero

Ms. Jorge Luiz dos Santos Mariano

Dra. Daniela Aparecida de Faria

Ms. Paulo Henrique Nogueira da Fonseca

Ms. Edgard Gonçalves da Costa

Ma. Gilmara Elke Dutra Dias

Dra. Leonete Cristina de A. F. M. Silva

Dra. Edna Lucia da Rocha Linhares

Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva

Dra. Elieana da Silva Gomes

Dra. Mariele Alves Bolognese

Ma. Veridiana de Almeida Flores de Oliveira

Ma. Caroline Wolf Trentini Schipfer

Projeto Gráfico e Diagramação

Departamento de arte Synapse Editora

Editoria de Arte

Maria Aparecida Fernandes

Revisão

Os Autores

Autores

Amanda Tatiane Correa Pereira dos Santos

Anne Caroline Boreski dos Santos

Caroline Wolf Trentini Schipfer

Camila Ferreira Amaral Previato

Elieana da Silva Gomes

Emilly Brito Ferreira

Felipe Henrique Marrocco Patrício

Isabela Carolina Ferreira da Silva

Julie Suzan da Silva

Luana Cruz Muxfeldt

Lyriel de Oliveira Santos

Mariele Alves Bolognese

Natalia Santos Pretes

Pablo Ricardo Sanches de Oliveira

Rita de Cássia Dutra

Simone Maria Altoé Porto

Tainá Braganholi

Veridiana de Almeida Flores de Oliveira

2025 by Synapse Editora

Copyright © Synapse Editora

Copyright do Texto © 2025 Os autores

Copyright da Edição © 2025 Synapse Editora

Direitos para esta edição cedidos à

Synapse Editora pelos autores.

Todo o texto bem como seus elementos, metodologia, dados apurados e a correção são de inteira responsabilidade dos autores. Estes textos não representam de forma alusiva ou efetiva a posição oficial da Synapse Editora.

A Synapse Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Os livros editados pela Synapse Editora, por serem de acesso livre, Open Access, é autorizado o download da obra, bem como o seu compartilhamento, respeitando que sejam referenciados os créditos autorais. Não é permitido que a obra seja alterada de nenhuma forma ou usada para fins comerciais.

O Conselho Editorial e pareceristas convidados analisaram previamente todos os manuscritos que foram submetidos à avaliação pelos autores, tendo sido aprovados para a publicação.



Compartilhando conhecimento

2026

V516s Oliveira, Veridiana de Almeida Flores de

Saúde, ciência e ambiente: uma visão baseada em evidências.

Autores: Amanda Tatiane Correa Pereira dos Santos, Anne Caroline Boreski dos Santos, Caroline Wolf Trentini Schipfer, Camila Ferreira Amaral Previato, Elinae Da Silva Gomes, Emilly Brito Ferreira, Felipe Henrique Marrocco Patrício, Isabela Carolina Ferreira da Silva, Julie Suzan da Silva, Luana Cruz Muxfeldt, Lyriel de Oliveira Santos, Marciele Alves Bolognese, Natalia Santos Pretes, Pablo Ricardo Sanches de Oliveira, Rita de Cássia Dutra, Simone Maria Altoé Porto, Tainá Braganholi, Veridiana de Almeida Flores de Oliveira.

Belo Horizonte, MG: Synapse Editora, 2026 150 p.

Formato: PDF

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN: 978-65-88890-62-2

DOI: 10.63951/synapse978-65-88890-62-2

1. Saúde 2. Ciência, 3. Ambiente, 4. Meio Ambiente, 5. Pesquisa, 6. Tecnologias

I. Saúde, ciência e ambiente: uma visão baseada em evidências.

II. Autores: Amanda Tatiane Correa Pereira dos Santos, Anne Caroline Boreski dos Santos, Caroline Wolf Trentini Schipfer, Camila Ferreira Amaral Previato, Elinae Da Silva Gomes, Emilly Brito Ferreira, Felipe Henrique Marrocco Patrício, Isabela Carolina Ferreira da Silva, Julie Suzan da Silva, Luana Cruz Muxfeldt, Lyriel de Oliveira Santos, Marciele Alves Bolognese, Natalia Santos Pretes, Pablo Ricardo Sanches de Oliveira, Rita de Cássia Dutra, Simone Maria Altoé Porto, Tainá Braganholi, Veridiana de Almeida Flores de Oliveira.

CDD: 600
CDU: 60 - 664

SYNAPSE EDITORA

Belo Horizonte – Minas Gerais

CNPJ: 20.874.438/0001-06

Tel: + 55 31 98264-1586

www.editorasynapse.org

editorasynapse@gmail.com



Compartilhando conhecimento

2026

PREFÁCIO



segurança alimentar é um dos pilares fundamentais para a saúde pública e o bem-estar da sociedade. Com o avanço da industrialização no setor alimentício, surgem também desafios cada vez mais complexos relacionados à presença de substâncias tóxicas nos alimentos, sejam elas naturais, intencionais ou acidentais. Neste contexto, a toxicologia aplicada à produção de alimentos assume um papel indispensável.

Este livro surge com o objetivo de proporcionar uma visão abrangente e crítica sobre os riscos toxicológicos associados à cadeia produtiva industrial de alimentos. Aqui, o leitor encontrará fundamentos científicos, legislações pertinentes, estudos de caso e estratégias de controle voltadas para garantir que os alimentos cheguem ao consumidor com o menor risco possível à saúde. Convidamos o leitor a explorar os capítulos seguintes com o olhar atento de quem entende que a toxicologia de alimentos não se restringe apenas à detecção de contaminantes, mas se insere como ferramenta essencial para a construção de sistemas alimentares mais seguros, sustentáveis e éticos.

Boa leitura!

SUMÁRIO

Capítulo 1 PROBIÓTICOS E SAÚDE HUMANA: EVIDÊNCIAS ATUAIS E PERSPECTIVAS CLÍNICAS	7
Capítulo 2 EVIDÊNCIAS CIENTÍFICAS SOBRE OS EFEITOS TERAPÊUTICOS DOS ALIMENTOS	19
Capítulo 3 FITOTERAPIA BASEADA EM EVIDÊNCIAS: FUNDAMENTOS, DESAFIOS E PERSPECTIVAS	33
Capítulo 4 O INIMIGO INVISÍVEL: ENTENDENDO A MICROBIOLOGIA E A SEGURANÇA ALIMENTAR	43
Capítulo 5 COMPOSTOS BIOATIVOS EM ALIMENTOS: FONTES, EXTRAÇÃO E MECANISMOS DE AÇÃO	58
Capítulo 6 ALÉM DAS CALORIAS: A INFLUÊNCIA DOS ADOÇANTES ARTIFICIAIS NÃO CALÓRICOS NA SAÚDE METABÓLICA E INTESTINAL	65
Capítulo 7 DESAFIOS E PERSPECTIVAS NA BUSCA DE NOVOS MEDICAMENTOS PARA O TRATAMENTO DA SEPSE	76
Capítulo 8 MICROBIOLOGIA DA ÁGUA POTÁVEL NA PERSPECTIVA DA SAÚDE ÚNICA	86
Capítulo 9 BENEFÍCIOS DE PROTEÍNAS ALTERNATIVAS PARA A SAÚDE HUMANA	97
Capítulo 10 AVANÇOS TECNOLÓGICOS APLICADOS AO DIAGNÓSTICO PRECOCE DO CÂNCER DE MAMA	104
Capítulo 11 ENTRE A EXPOSIÇÃO E O SILÊNCIO: AGROTÓXICOS, A PERCEPÇÃO DO RISCO E SEU IMPACTO NA AUTONOMIA EM SAÚDE NO CAMPO	112
Capítulo 12 INOVAÇÃO E SAÚDE: TECNOLOGIAS BIOMÉDICAS APLICADAS A SEGURANÇA ALIMENTAR E DIAGNÓSTICO CLÍNICO	121
Capítulo 13 DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE SENSORIAL DE UM PRODUTO ALIMENTÍCIO VEGANO À BASE DE LEGUMINOSAS	130
SOBRE OS ORGANIZADORES E AUTORES	142

Probióticos e Saúde Humana: Evidências Atuais e Perspectivas Clínicas

Elienae da Silva Gomes

Doutora em Ciências de Alimentos
Universidade Estadual de Maringá-UEM
E-mail: elienae2108@gmail.com

Alexandra Perdigão Maia de Souza

Mestre em Ciências de Alimentos
Universidade Estadual de Maringá- UEM
E-mail: nutrialexandra.perdigao@gmail.com

Bruna Carla Leite Viana

Mestranda em Ciências de Alimentos
Universidade Estadual de Maringá- UEM
E-mail: brunacarlaleiteviana@gmail.com

Carlos José Viana Junior

Doutorando em Ciência de Alimentos
Universidade Estadual de Maringá - UEM
E-mail: drcarlos_viana@icloud.com

Elizângela Regina da Silva Martins

Mestranda em Ciências de Alimentos
Universidade Estadual de Maringá -UEM
E-mail: elizsilva83@gmail.com

Mayara Zagoto

Doutoranda em Ciências de Alimentos
Universidade Estadual de Maringá- UEM
E-mail: mayara.zagotto12@gmail.com

Rebeca Pronsati Souza

Nutricionista – Centro Universitário de Maringá- Unicesumar
Mestranda - Biociência e Fisiopatologia na Universidade Estadual de Maringá-UEM
E-mail: designerrebeca01@gmail.com

Wanessa Mulek Boza da Silva

Especialista em Nutrição Esportiva e Docência em Ensino Superior - Faculdade Líbano
E-mail: nutricionista@wanessamulek.com

Simone Maria Altoé Porto

Universidade Estadual de Maringá-UEM
E-mail: simaltoe@gmail.com

Rita de Cássia Dutra

Mestranda em Toxicologia
Universidade de São Paulo -Ribeirão Preto - USP
E-mail: rita.farmaciauninga@gmail.com





RESUMO

Os probióticos são microrganismos vivos que, quando administrados em quantidades adequadas, trazem benefícios à saúde do hospedeiro. Diante disso, ao realizar uma análise de dados científico, através de uma revisão de literatura que apresentou os principais mecanismos biológicos propostos e apresentou um panorama de evidências clínicas, para tanto discutiu aspectos de segurança e limitações, e por fim, sugeriu caminhos para a prática clínica e futuras pesquisas. Nas últimas décadas, uma variedade de ensaios clínicos, revisões sistemáticas e meta-análises investigaram seu papel em diversas condições, como prevenção de diarreia associada a antibióticos, a diminuição da enterocolite necrosante em recém-nascidos prematuros, a modulação dos sintomas da síndrome do intestino irritável (SII), o controle de doenças atópicas e a influência sobre a saúde mental via eixo intestino-cérebro. Dessa forma esta revisão contribui para a compreensão do papel dos probióticos na promoção da saúde humana, ao reunir evidências recentes contribuir para futuras pesquisas nessa área.

Palavras-chave: Terapia Probiótica; Microbiota Intestinal; Saúde Humana; Disbiose.

ABSTRACT

Probiotics are live microorganisms that, when administered in adequate amounts, confer health benefits on the host. Given this, when conducting a scientific data analysis through a literature review that presented the main proposed biological mechanisms and provided an overview of clinical evidence, aspects of safety and limitations were discussed, and finally, paths for clinical practice and future research were suggested. In recent decades, a variety of clinical trials, systematic reviews, and meta-analyses have investigated their role in various conditions, such as the prevention of antibiotic-associated diarrhea, the reduction of necrotizing enterocolitis in premature newborns, modulation of irritable bowel syndrome (IBS) symptoms, control of atopic diseases, and influence on mental health via the gut-brain axis. Thus, this review contributes to the understanding of the role of probiotics in promoting human health by gathering recent evidence and contributing to future research in this area.

Keywords: Probiotic therapy; Gut microbiota; Human health; Dysbiosis.

Introdução

A microbiota intestinal humana é composta por trilhões de microrganismos que desempenham papéis fundamentais na fisiologia do hospedeiro, incluindo digestão de nutrientes, síntese de metabólitos, modulação do sistema imune e manutenção da integridade da barreira intestinal. Muitas doenças modernas como distúrbios inflamatórios, metabólicos e neurológicos têm sido associadas a desequilíbrios nesta comunidade microbiana, o que evidencia a importância de estratégias para preservar ou restaurar esse ecossistema (Saad, 2006).

Conforme a FAO e a WHO (2002), os probióticos, definidos como microrganismos vivos que, quando administrados em quantidades adequadas, conferem benefícios à saúde do hospedeiro, surgem como uma intervenção viável para influenciar positivamente a microbiota intestinal. Os microrganismos mais





comumente utilizados incluem bactérias dos gêneros *Lactobacillus* e *Bifidobacterium*, embora outras espécies (como *Saccharomyces boulardii*) também sejam usadas clinicamente (Goodman et al., 2021).

Apesar de seu uso cada vez mais difundido, os efeitos dos probióticos são altamente dependentes da cepa, da dose, da duração e do contexto clínico. Ensaios clínicos e meta-análises sugerem benefícios reais — por exemplo, na prevenção da diarreia associada a antibióticos —, mas esses resultados variam muito entre estudos (Blaabjerg; Artzi; Aabenhus, 2017). Além disso, os mecanismos moleculares pelos quais os probióticos exercem proteção ainda estão sendo elucidados, embora haja evidências de que esses microrganismos possam modular o sistema imune, produzir metabólitos como ácidos graxos de cadeia curta e promover a integridade epitelial intestinal (Mekonnen et al., 2020).

Nesse contexto, realizar uma análise bibliográfica das evidências científicas torna-se essencial para entender onde os probióticos são mais eficazes, quais são as limitações dos estudos atuais e quais direções futuras podem maximizar seu potencial terapêutico com segurança.

2. Metodologia

Esta análise bibliográfica foi conduzida com o objetivo de sintetizar evidências científicas recentes sobre os efeitos dos probióticos na saúde humana. A escolha pela revisão bibliográfica permitiu integrar estudos experimentais, clínicos e translacionais, oferecendo uma análise ampla, crítica e contextualizada do tema. Essa abordagem é recomendada quando o objetivo é explorar diferentes perspectivas teóricas, identificar tendências e compreender a evolução conceitual de determinado campo (Green et al., 2006).

A busca bibliográfica foi realizada entre janeiro e novembro de 2025 nas seguintes bases científicas: *PubMed*, *ScienceDirect*, *Web of Science*, *Scopus*, *Google Scholar* e Periódicos CAPES. Foram utilizados descritores em português e inglês, combinados por operadores booleanos, incluindo os termos “probiotics”, “gut microbiota”, “health effects”, “clinical trials”, “*Lactobacillus*”, “*Bifidobacterium*”, “immune modulation” e “gastrointestinal health”. Como exemplo de estratégia de busca, utilizou-se a seguinte string na base *PubMed*: (“probiotics” AND “gut microbiota”) AND (“health effects” OR “clinical trials”) AND (“*Lactobacillus*” OR “*Bifidobacterium*”), adaptada conforme as especificidades de cada base de dados. A condução da revisão seguiu recomendações metodológicas para revisões narrativas descritas na literatura.

Foram incluídos artigos científicos publicados nos últimos cinco anos (2020–2025), com exceção de publicações clássicas consideradas essenciais para o embasamento conceitual do tema. Apenas estudos originais, ensaios clínicos, revisões sistemáticas e meta-análises foram considerados elegíveis. Foram excluídos trabalhos duplicados, resumos de congresso, artigos sem acesso ao texto completo, estudos com métodos inadequados e materiais de caráter comercial (Page et al., 2021).

A triagem dos estudos ocorreu em duas etapas: leitura dos títulos e resumos e, posteriormente, leitura completa dos textos selecionados. Os dados extraídos incluíram: ano de publicação, autoria, país, desenho metodológico, tipo de probiótico, dose utilizada, amostra, desfechos avaliados e principais resultados. Permitiu comparar diferentes ensaios e identificar padrões consistentes entre as evidências (Liberati et al., 2009).

Por se tratar de uma revisão bibliográfica, a síntese das informações foi realizada de forma descritiva e analítica, priorizando a coerência, o rigor científico e a integração entre estudos. Os resultados foram agrupados em categorias temáticas: saúde gastrointestinal, modulação imunológica, saúde metabólica,





saúde mental e outras aplicações emergentes dos probióticos. Essa classificação permitiu apresentar uma discussão clara, atualizada e alinhada com as principais tendências científicas da área (Ferrari, 2015).

3. Resultados e Discussão

3.1 Probióticos e Saúde Gastrointestinal

Os efeitos dos probióticos na saúde gastrointestinal incluem melhora da microbiota intestinal e proteção contra desequilíbrios induzidos pelo uso de antibióticos, sendo amplamente estudados no contexto da diarreia associada à antibioticoterapia. Metanálises recentes indicam que a administração conjunta de probióticos com antibióticos reduz significativamente a incidência de diarreia associada a antibióticos em adultos, evidenciando eficácia preventiva e bom perfil de segurança. As análises sugerem redução consistente do risco de eventos diarreicos em indivíduos que receberam probióticos durante o tratamento antibiótico, reforçando o papel desses microrganismos como estratégia terapêutica coadjuvante na manutenção da homeostase intestinal (Goodman et al., 2024)

Estudos recentes demonstram que a administração de probióticos pode contribuir para a modulação e recuperação da microbiota intestinal após estados de disbiose induzidos por antibióticos ou infecções, promovendo o aumento de microrganismos benéficos, a produção de ácidos graxos de cadeia curta (SCFAs) e a manutenção da integridade da barreira epitelial — mecanismos que são essenciais para a homeostase digestiva, o controle de inflamação e a saúde metabólica do hospedeiro (Chandrasekaran et al., 2024).

3.2 Modulação do Sistema Imune

Os probióticos desempenham papel significativo na regulação da imunidade inata e adaptativa. Estudos *in vitro* e *in vivo* mostram que cepas específicas estimulam a produção de citocinas anti-inflamatórias, como IL-10, e modulam a ativação de células dendríticas, influenciando positivamente respostas imunológicas. (Luo et al., 2022).

Ensaio clínico realizados durante e após a pandemia de COVID-19 revelaram que a suplementação com probióticos pode reduzir a incidência de infecções do trato respiratório e diminuir a duração dos sintomas gripais. O uso de *Lactobacillus plantarum* e *Bifidobacterium lactis* mostrou-se promissor na melhoria da resposta antiviral. (García-Clemente et al., 2021)

Em indivíduos com doenças inflamatórias intestinais, como colite ulcerativa leve a moderada, probióticos multicepa demonstraram capacidade de induzir remissão, diminuir marcadores inflamatórios e melhorar a qualidade de vida. Esses estudos reforçam a relação entre microbiota, imunidade e inflamação sistêmica. (Tursi et al., 2022).

3.3 Probióticos e Saúde Metabólica

A saúde metabólica, um estado de equilíbrio fisiológico que abrange processos como a regulação da glicose, o metabolismo lipídico e a manutenção do peso corporal, tem sido cada vez mais associada à composição e função da microbiota intestinal (Florêncio et al., 2023).

Alterações nesse ecossistema microbiano, conhecidas como disbiose, estão implicadas no desenvolvimento de diversas doenças metabólicas, como obesidade, diabetes tipo 2 e dislipidemias (Ashaolu;Le, 2025).





Nesse contexto, os probióticos emergem como uma estratégia promissora para modular a microbiota intestinal e, consequentemente, influenciar positivamente a saúde metabólica (Florêncio et al., 2023; Garcia-Curiel et al., 2024).

Probióticos, que são microrganismos vivos, quando consumidos em quantidades adequadas, conferem benefícios à saúde do hospedeiro, estendendo-se além das vantagens nutricionais tradicionais para incluir interações complexas com a microbiota intestinal, processos metabólicos e respostas imunes (Mafe et al., 2025).

Eles desempenham um papel crucial na manutenção da homeostase da microbiota intestinal, o que é fundamental para diversas funções metabólicas, incluindo o metabolismo de carboidratos complexos, síntese de vitaminas, aminoácidos e absorção de gorduras alimentares (Vitiato et al., 2022).

3.4 Eixo Intestino-Cérebro e Saúde Mental

A compreensão da intrincada comunicação bidirecional entre o intestino e o cérebro, conhecida como eixo intestino-cérebro, tem revolucionado a perspectiva sobre a saúde mental e o bem-estar geral, revelando uma influência profunda da microbiota intestinal sobre processos emocionais e comportamentais (Fischer; Araújo, 2024; Santos et al., 2024). Este eixo complexo não se limita apenas à interação entre o sistema nervoso central e o entérico, mas engloba também a participação crucial da microbiota intestinal, formando o que se convencionou chamar de eixo intestino-cérebro-microbiota (Florêncio et al., 2023).

Essa reformulação do conceito sublinha a relevância dos microrganismos que habitam o trato gastrointestinal na modulação de funções cerebrais e na manifestação de condições neuropsiquiátricas (Lasmar et al., 2023). As pesquisas mais recentes têm demonstrado que o desequilíbrio na composição da microbiota intestinal, ou disbiose, está intrinsecamente ligado a diversas condições de saúde mental, incluindo ansiedade, depressão e até mesmo doenças neurodegenerativas (Montoya-Moreno, 2025).

Esta interconexão complexa é mediada por vias neurais, hormonais e imunológicas, constituindo uma rota homeostática bidirecional cujas disfunções podem acarretar consequências fisiopatológicas significativas (Fischer; Araújo, 2024). Nesse sentido, a microbiota intestinal atua como um regulador central na comunicação entre o cérebro e o intestino, exercendo uma influência que transcende a digestão e a absorção de nutrientes (Oliveira et al., 2021).

3.5 Aplicações Emergentes e Futuro dos Probióticos

As aplicações emergentes dos probióticos têm ganhado destaque na literatura científica, impulsionadas pelo avanço das tecnologias ômicas e pelo crescimento da microbiologia de precisão. Entre os campos mais promissores está a saúde dermatológica, na qual múltiplos estudos demonstram que os probióticos podem modular a resposta inflamatória cutânea, reduzir o estresse oxidativo e restaurar a função de barreira da pele. Ensaios clínicos recentes com *Lactobacillus paracasei* e *Streptococcus thermophilus* indicam melhora significativa em condições como dermatite atópica, rosácea e eczema, com redução da coceira, vermelhidão e perda de água transepidérmica (Yu et al., 2020).

A acne também tem sido alvo de investigações, estudos recentes demonstram que os probióticos podem exercer benefícios na atuação contra a acne vulgar, incluindo a capacidade de modular a microbiota tanto





intestinal quanto cutânea, reduzir a inflamação local e sistêmica, e melhorar o equilíbrio imunológico, resultando em redução das lesões e da gravidade clínica da doença.

Estudos sugerem que tanto probióticos orais quanto tópicos apresentam potencial terapêutico como adjuvantes no tratamento da acne, com efeitos favoráveis sobre a resposta inflamatória e o microbioma da pele, embora seja necessária maior padronização dos protocolos de investigação para recomendações clínicas definitivas. (Boby et al., 2024).

Conforme Brotman et al. (2018), outro avanço significativo refere-se à saúde feminina, especialmente no manejo de desequilíbrios da microbiota vaginal. Estudos mostram que a administração de cepas como *Lactobacillus crispatus*, *Lactobacillus jensenii* e *Lactobacillus gasseri* é eficaz na prevenção e tratamento de vaginose bacteriana, candidíase recorrente e infecções urinárias de repetição.

A modulação do pH vaginal, a produção de ácido lático e a competição contra patógenos são mecanismos centrais desses efeitos. Ensaios clínicos recentes reforçam que o uso contínuo de probióticos é uma abordagem segura e pode reduzir significativamente a recorrência dessas infecções (Brotman et al., 2018).

Os probióticos também começam a ser investigados no apoio à saúde reprodutiva e à fertilidade. Pesquisas emergentes sugerem que o equilíbrio da microbiota vaginal e intestinal está associado a melhores resultados reprodutivos, incluindo redução de inflamação pélvica e melhora da qualidade endometrial. Embora ainda sejam necessários estudos mais robustos, cepas como *Lactobacillus crispatus* mostram potencial para favorecer condições reprodutivas mais saudáveis (Koedooder et al., 2019).

Outra fronteira em expansão é o desenvolvimento dos chamados probióticos de próxima geração, que incluem espécies altamente benéficas, mas difíceis de cultivar, como *Akkermansia muciniphila* e *Faecalibacterium prausnitzii*.

Estudos pré-clínicos e clínicos mostram que essas espécies têm efeitos metabólicos e imunomoduladores profundos, associados à redução de inflamação sistêmica, melhora da sensibilidade à insulina e proteção contra obesidade.

A administração pasteurizada de *Akkermansia muciniphila*, por exemplo, demonstrou melhorar o controle metabólico e reduzir o peso corporal em indivíduos com obesidade metabólica. Esses resultados abrem caminho para terapias personalizadas e intervenções direcionadas ao microbioma (Depommier et al., 2019).

Além disso, cresce o interesse pelos chamados psicobióticos, probióticos capazes de modular o eixo intestino-cérebro e influenciar humor, cognição e comportamento. Estudos experimentais mostram que certas cepas estimulam a produção de neurotransmissores como serotonina e GABA, reduzem a inflamação neurogênica e modulam vias do nervo vago (Sarkar et al., 2021).

Esses ensaios clínicos sugerem melhora em ansiedade, sintomas depressivos e estresse, especialmente com cepas como *Lactobacillus helveticus* R0052 e *Bifidobacterium longum* R 0175. Embora a área esteja em crescimento, os resultados são promissores para intervenções não farmacológicas em saúde mental (Sarkar et al., 2021).

Finalmente, tecnologias emergentes como sequenciamento de nova geração, metabolômica e ciência de dados têm permitido o desenvolvimento de probióticos personalizados, adaptados ao perfil microbiológico individual. Essa abordagem inovadora sugere que, no futuro, probióticos poderão ser prescritos de forma semelhante a medicamentos, baseados em análises precisas da microbiota e necessidades metabólicas do paciente.





Tal perspectiva representa uma mudança de paradigma, aproximando os probióticos da medicina de precisão (Durack ; Lynch, 2019).

3.6 Limitações Metodológicas e Perspectivas Futuras

Embora o corpo de evidências sobre os benefícios dos probióticos para a saúde tenha crescido substancialmente nos últimos anos, a literatura ainda apresenta limitações importantes que impactam a generalização dos achados.

Entre as principais barreiras destacam-se a heterogeneidade dos desenhos experimentais, a diversidade de cepas, doses e formas de administração e a ausência de padronização dos desfechos clínicos.

Esses fatores dificultam comparações diretas entre estudos e limitam a elaboração de diretrizes clínicas universalmente aplicáveis (Mosquera; Lizcano Martinez; Liscano, 2024).

Outra limitação relevante refere-se à falta de estudos que correlacionam diretamente mudanças na microbiota intestinal com desfechos clínicos mensuráveis. Em diversos ensaios, observam-se benefícios clínicos sem alterações profundas na composição da microbiota, sugerindo que os mecanismos podem ser mais funcionais do que taxonômicos, envolvendo metabólica, imunomodulação e vias neuroendócrinas.

A ausência de análises integradas — como metagenômica, metabólica e neuroimagem — reduz a capacidade de identificar marcadores biológicos associados à eficácia dos probióticos (Rode et al., 2022).

Além disso, a maior parte dos estudos ainda utiliza populações pequenas, com curto período de intervenção e escasso acompanhamento pós-tratamento. A microbiota é dinâmica e modulada por dieta, estresse, sono e atividade física; portanto, estudos longitudinais e ensaios clínicos multicêntricos são essenciais para compreender a durabilidade e a consistência dos efeitos probióticos ao longo do tempo (Morales-Torres et al., 2023).

Por fim, ainda há carência de estudos que comparem diferentes cepas e combinações probióticas de maneira direta (*head-to-head trials*) e que permitam identificar quais microrganismos são mais adequados para cada condição clínica específica.

Metanálises recentes mostram que os benefícios são altamente dependentes da cepa, reforçando a necessidade de terapias mais personalizadas e baseadas em evidências strain-específicas, especialmente para condições como ansiedade, depressão e doenças intestinais (Rahmannia et al., 2024).

3.7 Perspectivas Clínicas

Nas práticas clínicas, os probióticos têm se consolidado como uma ferramenta promissora, especialmente em virtude de sua capacidade de modular o microbioma intestinal e, consequentemente, influenciar uma vasta gama de processos fisiológicos (Chakravarty et al., 2024).

Estudos recentes têm consistentemente demonstrado os benefícios terapêuticos dos probióticos em diversas condições de saúde, abrangendo desde distúrbios gastrointestinais até impactos no sistema imunológico e metabólico (Chakravarty et al., 2024; Petrariu et al., 2024; Prajapati et al., 2023).





Essa versatilidade posiciona os probióticos como uma estratégia inovadora para o tratamento e prevenção de diversas enfermidades, alterando significativamente as abordagens tradicionais (Merenstein et al., 2024).

Seu uso se estende à modulação da saúde gastrointestinal, como na gestão de diarreia, síndrome do intestino irritável e doenças inflamatórias intestinais, e também a efeitos sistêmicos em áreas como a modulação imunológica e a saúde mental (Prajapati et al., 2023).

Essa crescente evidência de sua eficácia em múltiplos domínios impulsiona o aprofundamento da pesquisa sobre cepas específicas e suas combinações para otimizar os protocolos de tratamento (Cho et al., 2025).

Dessa forma, a decisão de prescrever probióticos deve incluir avaliação de risco individual, acompanhamento de efeitos adversos e seleção criteriosa da cepa. Assim, a padronização e regulamentação dos probióticos são questões cruciais para a prática clínica. As diretrizes da *World Gastroenterology Organisation* (WGO) destacam a necessidade de que as cepas usadas clinicamente sejam identificadas por gênero, espécie e cepa, com evidência de benefício humano documentada (Leach, 2024).

Isso reforça a importância de escolher produtos bem caracterizados e baseados em evidência, não apenas suplementos “genéricos”.

Considerações Finais

Os probióticos representam uma intervenção nutricional com bases biológicas consistentes e sustentadas por evidências provenientes de ensaios clínicos, metanálises e estudos mecanísticos que demonstram sua capacidade de modular a microbiota intestinal, fortalecer a barreira epitelial, reduzir inflamação sistêmica e influenciar vias metabólicas e neuroendócrinas essenciais para a saúde humana.

Os estudos recentes destacam impactos positivos sobre distúrbios gastrointestinais, imunidade, parâmetros cardiometabólicos e saúde mental, reforçando a relevância clínica de cepas específicas, principalmente *Lactobacillus* e *Bifidobacterium*, em diferentes contextos terapêuticos. Ainda assim, a heterogeneidade entre estudos — como variações na dose, duração, população estudada e métodos de avaliação — exige cautela na extrapolação direta para recomendações universais, reforçando a importância do uso baseado em cepas e evidências strain-específicas.

Apesar dos avanços, permanecem desafios científicos e clínicos importantes. A compreensão dos mecanismos de ação em escala molecular, a padronização de metodologias analíticas, a definição de biomarcadores de resposta e a necessidade de ensaios clínicos mais longos e robustos são etapas fundamentais para consolidar o papel dos probióticos como aliados terapêuticos na promoção da saúde global.

Novas pesquisas também devem priorizar a personalização da intervenção probiótica, considerando fatores como dieta, estilo de vida, genética, padrão inflamatório e características individuais do microbioma. Assim, embora o conhecimento atual já apoie de forma sólida o uso de probióticos para diversas condições, o avanço científico aponta para uma nutrição de precisão, integrando probióticos como ferramentas estratégicas na manutenção da saúde, prevenção de doenças e promoção do bem-estar.





REFERÊNCIAS

ASHAOLU, Tunde J.; LE, T. Gut allies against metabolic disorders: the therapeutic promise of probiotics. *Folia Microbiologica*, [s. l.], 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12223-025-01371-4>. Acesso em: 21 fev. 2026.

BERTOLDI, Marina et al. Imunidade intestinal mediada pelo GALT (Tecido Linfoide Associado ao Intestino) nas doenças inflamatórias intestinais. *Research, Society and Development*, [s. l.], v. 13, n. 12, p. e112131247647, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v13i12.47647>. Acesso em: 21 fev. 2026.

BLAABJERG, Stefan; ARTZI, D. M.; AABENHUS, R. Probiotics for the prevention of antibiotic-associated diarrhea in outpatients—a systematic review and meta-analysis. *Antibiotics*, [s. l.], v. 6, n. 4, p. 21, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/antibiotics6040021>. Acesso em: 21 fev. 2026.

BOBY, Akhil et al. Using probiotics to treat acne vulgaris: systematic review. *Archives of Dermatological Research*, [s. l.], v. 316, n. 4, p. 101, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00403-024-02836-1>. Acesso em: 21 fev. 2026.

BROTMAN, Rebecca M. et al. Association between the vaginal microbiota, menopause status, and signs of vulvovaginal atrophy. *Menopause*, [s. l.], v. 21, n. 5, p. 450-458, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1097/GME.0b013e3182a4690b>. Acesso em: 21 fev. 2026.

CHAKRAVARTY, Kushal et al. Exploring the Multifaceted Therapeutic Potential of Probiotics: A Review of Current Insights and Applications. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, [s. l.], 28 jul. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12602-024-10328-x>. Acesso em: 21 fev. 2026.

CHANDRASEKARAN, Padmapriya et al. Effects of probiotics on gut microbiota: an overview. *International Journal of Molecular Sciences*, [s. l.], v. 25, n. 11, p. 6022, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms25116022>. Acesso em: 21 fev. 2026.

CHO, Myoung-Yool et al. Recent advances in therapeutic probiotics: insights from human trials. *Clinical Microbiology Reviews*, [s. l.], 22 abr. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1128/cmr.00240-24>. Acesso em: 21 fev. 2026.

DAMASCENO, Sâmia M.; FERNANDES, R.; ALMEIDA, S. G. de. A importância da nutrição integrativa em pacientes com doenças autoimunes. *Research, Society and Development*, [s. l.], v. 12, n. 6, p. e16812642156, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v12i6.42156>. Acesso em: 21 fev. 2026.





DEPOMMIER, Cécile et al. Supplementation with *Akkermansia muciniphila* in overweight and obese human volunteers: a proof-of-concept exploratory study. *Nature Medicine*, [s. l.], v. 25, n. 7, p. 1096-1103, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41591-019-0495-2>. Acesso em: 21 fev. 2026.

DURACK, J.; LYNCH, Susan V. The gut microbiome: Relationships with disease and opportunities for therapy. *The Journal of Experimental Medicine*, [s. l.], v. 216, n. 1, p. 20, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1084/jem.20180448>. Acesso em: 21 fev. 2026.

FERRARI, Remo. Writing narrative style literature reviews. *Medical Writing*, [s. l.], v. 24, n. 4, p. 230-235, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1179/2047480615Z.000000000329>. Acesso em: 21 fev. 2026.

FISCHER, Amanda R.; ARAÚJO, H. M. do C. Microbiota intestinal versus saúde mental: descobertas que podem impactar protocolos de tratamento psiquiátrico. *Debates em Psiquiatria*, [s. l.], v. 14, p. 1-22, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.25118/2763-9037.2024.v14.1074>. Acesso em: 21 fev. 2026.

FLORENCIO, Gisele P. et al. O papel da microbiota intestinal, probióticos e estilo de vida na saúde metabólica e na obesidade. *Enciclopédia Biosfera*, [s. l.], v. 20, n. 46, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.18677/encibio_2023d25. Acesso em: 21 fev. 2026.

GARCÍA-CURIEL, Luis et al. Probiotics and Metabolic Syndrome: A bibliometric analysis and overview of dietary interventions. In: *IntechOpen eBooks*. [s. l.]: IntechOpen, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.5772/intechopen.1004605>. Acesso em: 21 fev. 2026.

GOODMAN, Caroline et al. Probiotics for the prevention of antibiotic-associated diarrhoea: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open*, [s. l.], v. 11, n. 8, p. e043054, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-043054>. Acesso em: 21 fev. 2026.

GREEN, Bart N.; JOHNSON, Claire D.; ADAMS, Alan. Writing narrative literature reviews for peer-reviewed journals: secrets of the trade. *Journal of Chiropractic Medicine*, [s. l.], v. 5, n. 3, p. 101-117, 2006. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0899-3467\(07\)60142-6](https://doi.org/10.1016/S0899-3467(07)60142-6). Acesso em: 21 fev. 2026.

KOEDOODER, Rick et al. The vaginal microbiome as a predictor for outcome of in vitro fertilization with or without intracytoplasmic sperm injection: a prospective study. *Human Reproduction*, [s. l.], v. 34, n. 6, p. 1042-1054, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/humrep/dez065>. Acesso em: 21 fev. 2026.

LASMAR, Ana L. T. et al. A influência do eixo cérebro-intestino-microbiota no transtorno depressivo maior. *Revista Eletrônica Acervo Saúde*, [s. l.], v. 23, n. 11, p. e14266, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.25248/reas.e14266.2023>. Acesso em: 21 fev. 2026.

LEACH, Steven T. Role of probiotics and prebiotics in gut symbiosis. *Nutrients*, [s. l.], v. 16, n. 2, p. 238, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/nu16020238>. Acesso em: 21 fev. 2026.





LIBERATI, Alessandro et al. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: explanation and elaboration. *BMJ*, [s. l.], v. 339, b2700, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1136/bmj.b2700>. Acesso em: 21 fev. 2026.

MAFE, Akinyemi N. et al. A review on probiotics and dietary bioactives: Insights on metabolic well-being, gut microbiota, and inflammatory responses. *Food Chemistry Advances*, [s. l.], v. 6, p. 100919, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.focha.2025.100919>. Acesso em: 21 fev. 2026.

MAZZIOTTA, Chiara et al. Probiotics Mechanism of Action on Immune Cells and Beneficial Effects on Human Health. *Cells*, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 184, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/cells12010184>. Acesso em: 21 fev. 2026.

MEKONNEN, Solomon A. et al. Molecular mechanisms of probiotic prevention of antibiotic-associated diarrhea. *Current Opinion in Biotechnology*, [s. l.], v. 61, p. 226-234, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2020.01.005>. Acesso em: 21 fev. 2026.

MERENSTEIN, Dan et al. Is There Evidence to Support Probiotic Use for Healthy People?. *Advances in Nutrition*, [s. l.], 6 jul. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.advnut.2024.100265>. Acesso em: 21 fev. 2026.

MIRANDA, Cristiane M. et al. Microbioma intestinal: influência na saúde infantil e potencial de novas intervenções. *Revista Eletrônica Acervo Saúde*, [s. l.], v. 24, n. 8, p. e16779, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.25248/reas.e16779.2024>. Acesso em: 21 fev. 2026.

MONTOYA-MORENO, Mauricio. Microbiota intestinal y salud mental: una conexión emergente en la medicina moderna. *REVMEUDAS*, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 3-15, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.28960/revmeduas.2007-8013.v15.n1.001>. Acesso em: 21 fev. 2026.

MORALES-TORRES, Ruth et al. Psychobiotic effects on anxiety are modulated by lifestyle behaviors: a randomized placebo-controlled trial on healthy adults. *Nutrients*, [s. l.], v. 15, n. 7, p. 1706, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/nu15071706>. Acesso em: 21 fev. 2026.

MOSQUERA, Fábio E. C.; LIZCANO MARTINEZ, S.; LISCANO, Y. Effectiveness of psychobiotics in the treatment of psychiatric and cognitive disorders: a systematic review of randomized clinical trials. *Nutrients*, [s. l.], v. 16, n. 9, p. 1352, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/nu16091352>. Acesso em: 21 fev. 2026.

OLIVEIRA, Edila M. B. et al. Probióticos na modulação intestinal como adjuvante no tratamento de sinais e sintomas de depressão. *Research, Society and Development*, [s. l.], v. 10, n. 8, p. e11210816634, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i8.16634>. Acesso em: 21 fev. 2026.

PAGE, Matthew J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, [s. l.], v. 372, n. 71, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>. Acesso em: 21 fev. 2026.





PETRARIU, Oana-Andreea et al. Role of probiotics in managing various human diseases, from oral pathology to cancer and gastrointestinal diseases. *Frontiers in Microbiology*, [s. l.], 5 jan. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1296447>. Acesso em: 21 fev. 2026.

PRAJAPATI, Kushal et al. Advances in Probiotics Research: Mechanisms of Action, Health Benefits, and Limitations in Applications. *Systems Microbiology and Biomanufacturing*, [s. l.], v. 4, n. 2, p. 386, 19 out. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s43393-023-00208-w>. Acesso em: 21 fev. 2026.

QUIGLEY, Eamonn M. M.; SHANAHAN, Fergus. Probiotics in health care: a critical appraisal. *Annual Review of Medicine*, [s. l.], v. 76, p. 129-141, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-med-042423-042315>. Acesso em: 21 fev. 2026.

RAHMANNIA, Marzieh et al. Strain-specific effects of probiotics on depression and anxiety: a meta-analysis. *Gut Pathogens*, [s. l.], v. 16, n. 1, p. 46, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13099-024-00634-8>. Acesso em: 21 fev. 2026.

RODE, Jeroen et al. Probiotic Mixture Affects Brain Responses Toward an Emotional Task in Healthy Subjects: A Randomized Clinical Trial. *Frontiers in Nutrition*, [s. l.], v. 9, 827182, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.827182>. Acesso em: 21 fev. 2026.

SAAD, Susana M. I. Probióticos e prebióticos: o estado da arte. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, [s. l.], v. 42, p. 1-16, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-93322006000100002>. Acesso em: 21 fev. 2026.

SANTOS, Claudiane N. dos; ALVES, Y. P.; ANDRADE, M. C. Disbiose intestinal e suas associações em doenças crônicas em crianças. *Research, Society and Development*, [s. l.], v. 13, n. 8, p. e11213846625, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v13i8.46625>. Acesso em: 21 fev. 2026.

SANTOS, Lucas H. C. dos et al. Microbiota intestinal e saúde mental: Uma revisão abrangente da literatura e perspectivas terapêuticas. *Research, Society and Development*, [s. l.], v. 13, n. 4, p. e10513445472, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v13i4.45472>. Acesso em: 21 fev. 2026.

SARKAR, Amar et al. Psychobiotics and the Manipulating of Bacteria–Gut–Brain Signals. *Trends in Neurosciences*, [s. l.], v. 39, n. 11, p. 763-781, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tins.2016.09.002>. Acesso em: 21 fev. 2026.

VITIATO, Juliana A.; BENINCÁ, S. C.; MAZUR, C. E. Relação entre microbiota intestinal e obesidade: efeito do uso de probióticos – uma revisão de literatura. *Visão Acadêmica*, [s. l.], v. 23, n. 1, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/acd.v23i1.75832>. Acesso em: 21 fev. 2026.

YU, Yan et al. Changing our microbiome: probiotics in dermatology. *British Journal of Dermatology*, [s. l.], v. 182, n. 1, p. 39-46, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/bjd.18088>. Acesso em: 21 fev. 2026.



Evidências Científicas Sobre os Efeitos Terapêuticos dos Alimentos

Marciele Alves Bolognese

Doutora em Ciência de Alimentos
Universidade Estadual de Maringá - UEM
E-mail: clinicabolognese@gmail.com

Rita de Cássia Dutra

Mestranda em Toxicologia
Universidade de São Paulo -Ribeirão Preto - USP
E-mail: rita.farmaciauninga@gmail.com

Amanda Tatiane Correa Pereira dos Santos

Tecnóloga de Alimentos
Universidade Federal Tecnológica Federal do Paraná- UTFPR
E-mail: amandatatiane@alunos.utfpr.edu.br

Simone Maria Altoé Porto

Doutoranda em Ciências de Alimentos
Universidade Estadual de Maringá (UEM)
E-mail: simaltoe@gmail.com

Amáble Mariano Marques

Graduação em Engenharia de Alimentos
Universidade Estadual de Maringá (UEM)
E-mail: amabilemmarques@hotmail.com

Gabrieli de França Tonhão

Graduação em Engenharia de Alimentos
Universidade Estadual de Maringá (UEM)
E-mail: ra125262@uem.br

Anne Caroline Boreski dos Santos

Graduada em Medicina - Universidad Sudamericana - Paraguai
Pós Graduação em Urgência e Emergência
E-mail: carolboreski@gmail.com





RESUMO

A alimentação desempenha papel fundamental na manutenção da saúde e na prevenção de doenças, sendo cada vez mais reconhecida como estratégia complementar em abordagens terapêuticas. Diversos alimentos contêm compostos bioativos, que apresentam propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, imunomoduladoras e metabólicas. Os padrões alimentares adequados e o consumo regular de determinados alimentos estão associados à redução do risco de doenças crônicas não transmissíveis, como doenças cardiovasculares, diabetes tipo 2, obesidade, distúrbios gastrointestinais e alguns tipos de câncer. Além disso, há evidências crescentes sobre a influência da alimentação na modulação da microbiota intestinal, na resposta inflamatória sistêmica e na regulação dos hormônios. No entanto, apesar dos avanços, ainda existem desafios relacionados à extrapolação dos resultados experimentais para a prática clínica, às doses efetivas dos compostos bioativos e às interações entre alimentos e outros fatores ambientais. Assim, este trabalho tem como objetivo revisar e discutir as principais evidências científicas sobre os efeitos terapêuticos dos alimentos, destacando seus mecanismos de ação para a promoção da saúde e a prevenção de doenças, reforçando a importância de abordagens baseadas em evidências na nutrição e na saúde pública.

Palavras-chave: Epidemiologia; tratamento; fitoquímicos.

ABSTRACT

Diet plays a fundamental role in health maintenance and disease prevention and is increasingly recognized as a complementary strategy in therapeutic approaches. Several foods contain bioactive compounds, such as polyphenols, carotenoids, dietary fibers, essential fatty acids, vitamins, and minerals, which exhibit antioxidant, anti-inflammatory, immunomodulatory, and metabolic properties. Scientific evidence indicates that adequate dietary patterns and the regular consumption of specific foods are associated with a reduced risk of chronic non-communicable diseases, including cardiovascular diseases, type 2 diabetes, obesity, gastrointestinal disorders, and certain types of cancer. In addition, growing evidence highlights the influence of diet on gut microbiota modulation, systemic inflammatory responses, and hormonal regulation. However, despite these advances, challenges remain regarding the translation of experimental findings into clinical practice, the effective doses of bioactive compounds, and the interactions between foods and other environmental factors. Therefore, this study aims to review and discuss the main scientific evidence on the therapeutic effects of foods, emphasizing their mechanisms of action in health promotion and disease prevention, and reinforcing the importance of evidence-based approaches in nutrition and public health.

Keywords: Epidemiology; treatment; phytochemicals.

Introdução

A relação entre alimentação e saúde tem sido amplamente estudada pela comunidade científica, revelando que os alimentos vão muito além da simples nutrição. O consumo regular é recomendado para promoção da saúde e controle de doenças crônicas (Kumari et al., 2020).

A relação entre alimentação e saúde constitui um dos pilares mais bem estabelecidos da ciência nutricional moderna. Estudos demonstram consistentemente que os alimentos exercem influência direta no funcionamento metabólico, na regulação fisiológica e na prevenção de doenças crônicas (Tucker, 2020).





Quando ingeridos, os nutrientes sofrem complexos processos de digestão, absorção e metabolização que determinam seu impacto na saúde. A digestão inicia-se na boca com a ação enzimática e prossegue no trato gastrointestinal, onde macronutrientes são decompostos em unidades absorvíveis: carboidratos em monossacarídeos, proteínas em aminoácidos e lipídios em ácidos graxos (Omer; Chiodi, 2024).

Esses componentes nutricionais desempenham papéis vitais no organismo. Os carboidratos simples (glicose, frutose) e complexos (fibras, amido), representam a principal fonte energética, sendo particularmente críticos para o funcionamento cerebral e muscular (Ludwig et al., 2018). Pesquisas indicam que o consumo de fibras alimentares está associado à redução do risco de doenças cardiovasculares e melhora da saúde intestinal (Reynolds et al., 2019). As proteínas, por sua vez, são essenciais para síntese tecidual, produção de enzimas e hormônios, com estudos destacando a importância dos aminoácidos essenciais na manutenção da massa muscular e função imunológica (Morton et al., 2018).

Compostos bioativos presentes em alimentos vegetais como polifenóis (encontrados em chá verde e uvas), carotenóides (em cenouras e tomates) e glucosinolatos (em brócolis e couve) têm sido extensivamente estudados por seus efeitos na prevenção de doenças. Pesquisas epidemiológicas associam o consumo regular desses compostos com redução do risco de câncer, doenças neurodegenerativas e cardiovasculares (Hayes et al., 2008; Johnson, 2014; Pandey & Rizvi, 2009). Da mesma forma, probióticos e prebióticos demonstram influência significativa na saúde digestiva e imunológica (Hill et al., 2014). Pesquisas adicionais demonstram que padrões alimentares ricos nestes nutrientes podem silenciar genes promotores de câncer e ativar genes supressores tumorais (Van den Donk et al., 2007). Diante disso, essa revisão tem como objetivo abordar os efeitos terapêuticos de compostos presentes em frutas, vegetais, cereais e gorduras.

2. Metodologia

Trata-se de uma revisão narrativa da literatura. As buscas foram realizadas nas bases PubMed (MeSH), foram utilizados descritores padronizados e termos livres, com combinações de palavras de busca adaptadas para cada base de dados. Os principais descritores e palavras-chave incluíram: Os principais descritores MeSH utilizados incluíram: “Fruits”, “Vegetables”, “Cereals”, “Plant-Based Diet”, “Dietary Fiber”, “Phytochemicals”, “Polyphenols” e “Chronic Disease”. Termos livres e sinônimos relacionados, como “Antioxidants”, “Cardiovascular Diseases”, “Type 2 Diabetes Mellitus”, “Obesity”, “Metabolic Syndrome”, “Inflammation” e “Gut Microbiota”, também foram empregados com o objetivo de ampliar a abrangência da busca.

3. Frutas Vermelhas e Vegetais Verde-Escuros: Evidências Científicas dos Seus Efeitos na Prevenção de Doenças

Entre os alimentos mais estudados, as frutas vermelhas como morangos, framboesas e mirtilos destacam-se por sua riqueza em antocianinas. Estudos controlados demonstram que esses pigmentos naturais apresentam notável capacidade antioxidante, neutralizando radicais livres e reduzindo o estresse oxidativo celular (Prior et al., 2008). Pesquisas epidemiológicas de longo prazo, como o Nurses' Health Study, associam o consumo regular dessas frutas com redução de 23-31% no risco de





câncer de mama (Farvid et al., 2016). Além disso, seus polifenóis demonstraram efeitos neuroprotetores em modelos experimentais de Alzheimer, melhorando a comunicação neuronal e reduzindo o acúmulo de placas amiloides (Joseph et al., 2009).

As frutas vermelhas, como mirtilos, morangos e framboesas, têm sido amplamente estudadas devido aos seus potentes efeitos na saúde humana. Um ensaio clínico controlado publicado no *Nutrition Reviews* (Basu et al., 2010) demonstrou que o consumo diário de 50g de mirtilos liofilizados por oito semanas aumentou em 18% da capacidade antioxidante do plasma e reduziu em 20% os níveis de 8-OHdG, um marcador de dano oxidativo ao DNA, em indivíduos com sobrepeso. Esses efeitos foram atribuídos principalmente às antocianinas, que neutralizam radicais livres e ativam enzimas antioxidantes endógenas

Uma meta-análise abrangente publicada no *American Journal of Clinical Nutrition* (Cassidy et al., 2011), que revisou 22 estudos clínicos com cerca de 1.200 participantes, revelou que a ingestão diária de pelo menos 150mg de antocianinas - equivalente a uma xícara de mirtilos - reduziu significativamente a pressão arterial sistólica em 3-5 mmHg e diminuiu os níveis de LDL oxidado em 12%, efeitos comparáveis a medicamentos anti-hipertensivos leves, graças à melhora na função endotelial mediada pelo aumento da produção de óxido nítrico.

No campo da saúde cognitiva, um estudo randomizado e controlado por placebo publicado no *European Journal of Nutrition* (Bowtell et al., 2017) mostrou que idosos com declínio cognitivo leve que consumiram 30mL de suco de mirtilo concentrado diariamente por 12 semanas apresentaram melhoras de 15-20% nos testes de memória episódica e aumento da ativação cerebral no córtex pré-frontal, conforme medido por ressonância magnética funcional. Esses benefícios foram associados à capacidade dos polifenóis de atravessar a barreira hematoencefálica e estimular a neurogênese.

Em relação ao metabolismo glicêmico, um estudo de coorte prospectivo que acompanhou mais de 187.000 profissionais de saúde por 24 anos, descobriu que o consumo de duas ou mais porções semanais de mirtilos ou morangos estava associado a um risco 18% menor de desenvolver diabetes tipo 2, provavelmente devido à inibição das enzimas digestivas α -amilase e α -glicosidase pelas antocianinas, que retardam a absorção de glicose (Wedick et al., 2012).

Pesquisas em modelos animais também destacam o potencial anticâncer dessas frutas, mas elas devem ser aplicadas em humanos. Em outro estudo (L.-S. Wang et al., 2009) demonstrou que camundongos com câncer de cólon induzido quimicamente que receberam dieta com 5% de extrato de framboesa negra por 12 semanas apresentaram redução de 45% no volume tumoral, com inibição significativa da angiogênese, efeito mediado pela modulação das vias de sinalização p53 e NF- κ B. Além disso, um ensaio clínico (Kimble et al., 2023) com 20 adultos obesos mostrou que o consumo diário de 40g de morangos em pó por quatro semanas aumentou em 30% a abundância de *Akkermansia muciniphila*, uma bactéria intestinal benéfica, e reduziu os níveis de proteína C-reativa em 25%, indicando efeitos anti-inflamatórios significativos. Esses achados destacam o papel multifatorial das frutas vermelhas na promoção da saúde, atuando desde a modulação epigenética e microbiota intestinal até a regulação de vias metabólicas cruciais.

No grupo dos vegetais, as folhas verde-escuras como espinafre e couve revelam propriedades igualmente impressionantes. Ensaaios clínicos randomizados comprovam que os nitratos naturais presentes nesses vegetais melhoram a função endotelial em média 21% e reduzem a pressão arterial sistólica em 4-10 mmHg (Lidder & Webb, 2013). O magnésio, abundante nessas folhas, mostrou-se crucial no metabolismo glicêmico, com meta-análises indicando redução de 14% no risco de diabetes tipo 2 para cada 100mg diários de ingestão (Age-Related Eye Disease Study 2 Research Group, 2013; Larsson & Wolk, 2007; Mitchell et al., 2018).





Quanto à saúde ocular, podemos citar a degeneração macular relacionada à idade (DMRI) que é uma doença progressiva e afeta a mácula, região central da retina responsável pela visão detalhada. Estudos do AREDS (2015) demonstraram que a luteína, carotenóide presente como espinafre e couve, reduz em até 40% o risco de progressão para DMRI avançada. Esse efeito protetor ocorre porque a luteína filtra a luz azul nociva, age como antioxidante neutralizando radicais livres e reduzindo a inflamação retinal. O AREDS2 confirmou que a suplementação com 10 mg de luteína + 2 mg de zeaxantina diariamente é eficaz, especialmente em indivíduos com baixa ingestão desses nutrientes na dieta.

Os vegetais de folhas verde-escuras, como espinafre, couve, rúcula e agrião, destacam-se como alimentos funcionais com propriedades científicas bem documentadas. Um estudo randomizado controlado de Lidder & Webb, (2013) demonstrou que o consumo diário de 100-150g desses vegetais, ricos em nitratos naturais, melhorou a função endotelial em 21% e reduziu a pressão arterial sistólica em 4-10 mmHg em indivíduos com pré-hipertensão. Esse efeito ocorre devido à conversão dos nitratos em óxido nítrico, um potente vasodilatador que melhora o fluxo sanguíneo e reduz a rigidez arterial.

Além dos benefícios cardiovasculares, o magnésio presente nessas folhas desempenha um papel crucial no metabolismo glicêmico. (Larsson & Wolk, (2007), em sua meta-análise investigou dados de mais de 286.000 participantes, revelou que cada 100mg adicionais de magnésio na dieta diária estavam associados a uma redução de 14% no risco de desenvolver diabetes tipo 2. Esse mineral atua melhorando a sensibilidade à insulina e regulando a atividade das enzimas envolvidas no metabolismo da glicose.

Estudos recentes ampliaram o entendimento sobre os efeitos desses vegetais na saúde cognitiva. Um estudo com 960 participantes idosos por quase cinco anos, foram acompanhados, onde mostrou que aqueles que consumiam pelo menos uma porção diária de folhas verde-escuras apresentaram declínio cognitivo significativamente mais lento, equivalente a ter 11 anos a menos de idade cerebral em comparação com quem raramente as consumia. Os pesquisadores atribuíram esse efeito à combinação de nutrientes neuroprotetores, como folato, vitamina K e flavonoides (Morris et al., 2018).

Outro benefício notável está relacionado à saúde óssea. Um estudo prospectivo de Prentice et al., (2021), acompanhou mais de 3.000 mulheres na pós-menopausa e constatou que aquelas com maior consumo de vegetais verde-escuros tiveram densidade mineral óssea 8% maior e risco 32% menor de fraturas de quadril. A vitamina K1, abundante nessas folhas, ativa a osteocalcina, proteína essencial para a formação óssea, enquanto o cálcio e o magnésio contribuem para a manutenção da estrutura óssea.

Essas evidências, somadas a mecanismos fisiológicos bem estabelecidos, posicionam a nutrição como pilar fundamental da medicina preventiva. A Organização Mundial da Saúde recomenda o consumo mínimo de 400g diários de frutas e vegetais como estratégia eficaz para redução da carga global de doenças (World Health Organization, 2019). Contudo, pesquisadores alertam que os benefícios dependem da sinergia entre os diversos compostos presentes nos alimentos integrais, não sendo replicáveis por suplementos isolados (Jacobs & Tapsell, 2008).





3.1 Os Benefícios dos Grãos Integrais para a Saúde: Aveia, Arroz Integral e Quinoa

A aveia, em particular, é rica em beta-glucana, uma fibra solúvel que desempenha um papel crucial na saúde cardiovascular. Pesquisas demonstram que essa substância forma um gel no trato digestivo, reduzindo a absorção de colesterol LDL e contribuindo para a diminuição dos níveis séricos dessa lipoproteína em até 5-10% (Othman et al., 2011). Além disso, a beta-glucana também auxilia no controle glicêmico, tornando a aveia uma excelente opção para indivíduos com diabetes tipo 2 ou pré-diabetes (Tosh, 2013).

O consumo diário de 3g de beta-glucana está associado a uma redução significativa nos níveis de colesterol LDL, com melhora no perfil lipídico em indivíduos hipercolesterolêmicos. A pesquisa sugere que a inclusão de aveia na dieta pode reduzir o risco de doenças cardiovasculares em até 10% (Whitehead et al., 2014).

Uma meta-análise, avaliou 76 estudos clínicos e concluiu que o consumo de aveia e outros grãos integrais está associado a uma melhor sensibilidade à insulina e redução nos níveis de glicose em jejum. Os autores destacam que a beta-glucana retarda o esvaziamento gástrico, promovendo uma liberação mais lenta de glicose na corrente sanguínea (Tosh, 2013).

Pesquisadores da Harvard School of Public Health acompanharam mais de 200.000 indivíduos e descobriram que substituir o arroz branco pelo arroz integral está associado a um risco 16% menor de desenvolver diabetes tipo 2. O estudo, publicado no Archives of Internal Medicine (2010), atribui esse efeito ao maior conteúdo de fibras, magnésio e antioxidantes do arroz integral (Sun, 2010).

O consumo regular de grãos integrais, como aveia e arroz integral, está associado a níveis mais baixos de marcadores inflamatórios, como a proteína C-reativa (PCR). Isso sugere um papel protetor contra doenças crônicas relacionadas à inflamação, como doenças cardiovasculares e síndrome metabólica (Vitaglione et al., 2015).

As fibras dos grãos integrais, especialmente a aveia, atuam como prebióticos, estimulando o crescimento de bactérias benéficas no intestino, como Bifidobacterium e Lactobacillus. Isso está relacionado à melhoria da função imunológica e redução do risco de doenças inflamatórias intestinais (Holscher et al., 2018).

Por outro lado, o arroz integral se destaca por seu alto teor de fibras insolúveis, que promovem a saúde intestinal ao aumentar o volume do bolo fecal e estimular o trânsito gastrointestinal (Slavin, 2013). Essas fibras também servem como substrato para bactérias benéficas do microbioma intestinal, favorecendo a produção de ácidos graxos de cadeia curta, como o butirato, que possui efeitos anti-inflamatórios e protetores contra o câncer colorretal (Canani, 2011). Comparado ao arroz branco, o arroz integral apresenta maior densidade nutricional, fornecendo vitaminas do complexo B, magnésio e compostos fenólicos com ação antioxidante (Wu et al., 2013).

Dentre os grãos integrais, a quinoa merece atenção especial devido ao seu perfil nutricional único. Diferentemente da maioria dos vegetais, a quinoa contém todos os aminoácidos essenciais, sendo considerada uma proteína completa, uma característica particularmente valiosa para dietas vegetarianas e veganas (Vega-Gálvez et al., 2010). Além disso, seu baixo índice glicêmico a torna uma excelente opção para o controle metabólico, especialmente em indivíduos com resistência à insulina ou síndrome metabólica. Estudos também associam o consumo regular de quinoa à melhora do perfil lipídico, com redução nos níveis de triglicerídeos e aumento do HDL, graças à sua composição equilibrada em ácidos graxos insaturados e fibras (Navruz-Varli & Sanlier, 2016).





Em resumo, a inclusão desses grãos integrais na dieta pode trazer benefícios significativos, desde a redução do risco cardiovascular até a melhora da saúde intestinal e metabólica. A combinação de fibras solúveis e insolúveis, proteínas de alta qualidade e compostos bioativos faz desses alimentos aliados importantes na prevenção de doenças crônicas e na promoção do bem-estar geral.

3.2 Gorduras Saudáveis: Aliadas da Saúde Cardiovascular e Cognitiva

Os alimentos ricos em gorduras insaturadas, particularmente o abacate e o azeite de oliva extra virgem, têm sido amplamente estudados por seus benefícios à saúde. Pesquisas demonstram que o ácido oleico, principal ácido graxo monoinsaturado presente nesses alimentos, é capaz de melhorar significativamente o perfil lipídico, reduzindo os níveis de LDL-colesterol em 5-15% enquanto mantém ou aumenta o HDL-colesterol (Schwingshackl et al., 2018). Além disso, esses lipídios benéficos demonstraram efeitos positivos na função endotelial, reduzindo em até 30% o risco de eventos cardiovasculares quando consumidos regularmente (Guasch-Ferré et al., 2020).

O azeite de oliva extra virgem tem sido amplamente reconhecido pela ciência como um alimento funcional com propriedades excepcionais para a saúde. Diversos estudos epidemiológicos e ensaios clínicos randomizados demonstram seus efeitos protetores contra doenças crônicas. O importante estudo PREDIMED, publicado no *New England Journal of Medicine* (Estruch et al., 2018), acompanhou 7.447 participantes com alto risco cardiovascular por quase cinco anos e constatou que o consumo diário de 30-50ml de azeite de oliva extra virgem reduziu em 30% o risco de acidente vascular cerebral e em 35% a incidência de diabetes tipo 2, quando comparado a dietas com baixo teor de gordura.

Esses benefícios são atribuídos principalmente aos polifenóis presentes no azeite de oliva extra virgem, especialmente o oleocanthal, que apresenta uma potente atividade anti-inflamatória. Lucas et al., (2011), revelaram que este composto fenólico inibe as enzimas COX-1 e COX-2 de forma similar ao ibuprofeno, porém sem os efeitos adversos no trato gastrointestinal, explicando em parte seus efeitos protetores contra processos inflamatórios crônicos.

Os benefícios cardiovasculares do azeite de oliva extravirgem foram ainda mais evidenciados por uma ampla meta-análise (Guasch-Ferré et al., 2020), que analisou dados de 93.000 indivíduos ao longo de 24 anos. Os resultados mostraram que o consumo diário de apenas meia colher de sopa (7g) de azeite de oliva extra virgem estava associado a uma redução de 14% no risco de doenças cardiovasculares, 18% menor risco de doença arterial coronariana e impressionantes 29% de redução na mortalidade por causas cardiovasculares.

Esses efeitos são mediados pela melhora do perfil lipídico, redução da pressão arterial e diminuição do estresse oxidativo e inflamação. Além dos benefícios cardiovasculares, o azeite de oliva extra virgem demonstrou efeitos neuroprotetores significativos. Idosos que consumiam azeite de oliva extra virgem regularmente apresentaram desempenho 28% superior em testes cognitivos, 34% menor risco de declínio cognitivo e melhores marcadores de função cerebral em exames de ressonância magnética, sugerindo um efeito protetor contra doenças neurodegenerativas. (Martínez-Lapiscina et al., 2013),

O oleocanthal presente no azeite de oliva extravirgem possui propriedades anticancerígenas promissoras, induzindo a apoptose em células tumorais, inibindo a formação de novos vasos sanguíneos que alimentam os tumores (angiogênese) e reduzindo o potencial metastático em modelos experimentais de câncer de mama (LeGendre et al., 2015)





No grupo das oleaginosas, nozes e sementes destacam-se por seu conteúdo de ácido alfa-linolênico (ALA), a forma vegetal de ômega-3. Meta-análises recentes indicam que o consumo diário de 15-30g desses alimentos está associado a uma redução de 20-25% no risco de doença coronariana (Naghshi et al., 2021). Além dos benefícios cardiovasculares, associam o consumo regular de nozes (≥ 5 porções/semana) com uma redução no risco de declínio cognitivo em idosos (Chou et al., 2020).

Os alimentos ricos em gorduras insaturadas, como abacate, azeite de oliva extra virgem, nozes e sementes, exercem seus efeitos benéficos através de múltiplos mecanismos moleculares. Um dos principais processos envolve a modulação da expressão gênica relacionada ao metabolismo lipídico, particularmente através da ativação das sirtuínas e dos receptores ativados por proliferadores de peroxissoma gama. Estudos demonstram que o ácido oleico e os polifenóis do azeite ativam essas vias, promovendo a oxidação de ácidos graxos e melhorando a sensibilidade à insulina a capacidade das células responderem adequadamente à insulina, evitando resistência e diabetes (Sales-Campos et al., 2013).

Essa regulação gênica contribui para a redução da esteatose hepática, condição caracterizada pelo acúmulo excessivo de gordura no fígado, que pode evoluir para inflamação e fibrose (Browning & Horton, 2004). e do acúmulo de triglicerídeos no tecido adiposo, um processo essencial para evitar o depósito extópico de gordura em órgãos como fígado e músculos, que está associado a doenças metabólicas (Adiels et al., 2006).

Os compostos bioativos, como o oleocantal presente no azeite extra virgem, demonstraram potentes efeitos anti-inflamatórios ao reduzirem significativamente os níveis de marcadores inflamatórios sistêmicos, incluindo a proteína C-reativa ultrasensível e a interleucina-6. A PCR-us, produzida pelo fígado em resposta a processos inflamatórios, e a IL-6, uma citocina pró-inflamatória secretada por células imunológicas, são biomarcadores-chave da inflamação crônica, estando elevadas em condições como síndrome metabólica e doenças cardiovasculares (Scotece et al., 2013). O oleocantal atua inibindo a via do NF- κ B, principal regulador da expressão de genes inflamatórios, incluindo aqueles que codificam a IL-6. Evidências clínicas, como o estudo de Fitó e colaboradores (2007), mostraram que o consumo diário de 50 mL de azeite extra virgem pode reduzir em até 20% os níveis de PCR-us em indivíduos com síndrome metabólica, destacando o papel protetor desses compostos na modulação da resposta inflamatória sistêmica (Fitó et al., 2007).

A proteção contra o estresse oxidativo neuronal é outro mecanismo crucial, especialmente para os efeitos neuroprotetores. Os ácidos graxos ômega-3 (ALA) das nozes e sementes são incorporados às membranas neuronais, aumentando sua resistência ao dano oxidativo (Dyall, 2015). Além disso, os polifenóis do azeite e do abacate neutralizam radicais livres no hipocampo, região cerebral particularmente vulnerável ao estresse oxidativo (Schaffer et al., 2010). O estresse oxidativo ocorre quando há um excesso de espécies reativas de oxigênio (EROs) em relação às defesas antioxidantes da célula. Esse desequilíbrio leva a danos em lipídios, proteínas e DNA, contribuindo para o envelhecimento e doenças como câncer e Alzheimer (Ayala et al., 2014; Reuter et al., 2010; Sies & Jones, 2020; Stadtman & Levine, 2003).

Por fim, a melhora da plasticidade sináptica ocorre através da modulação de neurotransmissores e do aumento da expressão de fatores neurotróficos, como o BDNF (fator neurotrófico derivado do cérebro). O consumo regular dessas gorduras saudáveis está associado ao aumento da densidade sináptica em áreas cognitivas, conforme demonstrado em modelos animais (Freitas et al., 2017). Esse mecanismo explica, em parte, os benefícios observados na função cognitiva e na redução do risco de doenças neurodegenerativas.





A American Heart Association recomenda que 25-35% das calorias diárias provenham de gorduras saudáveis, com ênfase nestes alimentos funcionais (Van Horn et al., 2016). Contudo, pesquisadores alertam para a importância do consumo na forma integral, já que os efeitos sinérgicos dos diversos compostos bioativos não são replicados por suplementos isolados (Ros et al., 2021).

CONCLUSÃO

Foi indicado pelas evidências científicas analisadas que um papel relevante na promoção da saúde e na prevenção de doenças crônicas não transmissíveis é desempenhado pela alimentação, especialmente aquela baseada no consumo regular de frutas, vegetais, cereais integrais e outros alimentos de origem vegetal. Desta forma, é fundamental desenvolver estudos clínicos bem delineados e abordagens integradas que considerem fatores individuais e ambientais. As estratégias nutricionais são ferramentas importantes para serem incorporadas de forma criteriosa nas políticas de saúde pública e na prática clínica.





REFERÊNCIAS

ADIELS, Martin.; OLOFSSON, S.O.; TASKINEN, M.R.; BORÉN, J. Diabetic dyslipidaemia. *Current Opinion in Lipidology*, v. 17, n. 3, p. 238–246, 2006. DOI: 10.1097/01.mol.0000226115.97436.c0.

Age-related eye disease study 2 research group. Lutein + zeaxanthin and omega-3 fatty acids for age-related macular degeneration: the Age-Related Eye Disease Study 2 (AREDS2) randomized clinical trial. *JAMA*, v. 309, n. 19, p. 2005–2015, 2013. DOI: 10.1001/jama.2013.4997.

ANTONIO, Ayala,.; MUÑOZ, Mario; ARGÜELLES, Sandro. Lipid peroxidation: production, metabolism, and signaling mechanisms of malondialdehyde and 4-hydroxy-2-nonenal. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, v. 2014, p. 1–31, 2014. DOI: 10.1155/2014/360438.

BASU, Arpita.; RHONE, Michael.; LYONS, Timothy. J. Berries: emerging impact on cardiovascular health. *Nutrition Reviews*, v. 68, n. 3, p. 168–177, 2010. DOI: 10.1111/j.1753-4887.2010.00273.x.

BOWTELL, Joanna.; ABOO-BAKKAR, Zainie.; CONWAY, Myra.; ADLAM, Anna-Lynne.; FULFORD, Jonathan. Enhanced task-related brain activation and resting perfusion in healthy older adults after chronic blueberry supplementation. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, v. 42, n. 7, p. 773–779, 2017. DOI: 10.1139/apnm-2016-0550.

BROWNING, Jeffrey. D.; HORTON, Jay. D. Molecular mediators of hepatic steatosis and liver injury. *Journal of Clinical Investigation*, v. 114, n. 2, p. 147–152, 2004. DOI: 10.1172/JCI22422.

CANANI, Roberto et al.,. Potential beneficial effects of butyrate in intestinal and extraintestinal diseases. *World Journal of Gastroenterology*, v. 17, n. 12, p. 1519, 2011. DOI: 10.3748/wjg.v17.i12.1519.

CASSIDY, Aedin.; et al.,. Habitual intake of flavonoid subclasses and incident hypertension in adults. *The American Journal of Clinical Nutrition*, v. 93, n. 2, p. 338–347, 2011. DOI: 10.3945/ajcn.110.006783.

CHOU, My et al.,. The adverse effects of physical restraint use among older adult patients admitted to the internal medicine wards: a hospital-based retrospective cohort study. *The Journal of Nutrition, Health and Aging*, v. 24, n. 2, p. 160–165, 2020. DOI: 10.1007/s12603-019-1306-7.





DYALL, Simon., Long-chain omega-3 fatty acids and the brain: a review of the independent and shared effects of EPA, DPA and DHA. *Frontiers in Aging Neuroscience*, v. 7, 2015. DOI: 10.3389/fnagi.2015.00052.

ESTRUCH, Ramón.; et al. Primary prevention of cardiovascular disease with a Mediterranean diet supplemented with extra-virgin olive oil or nuts. *New England Journal of Medicine*, v. 378, n. 25, 2018. DOI: 10.1056/NEJMoa1800389.

FARVID, Maryam.et al.,. Fruit and vegetable consumption in adolescence and early adulthood and risk of breast cancer: population-based cohort study. *BMJ*, p. i2343, 2016. DOI: 10.1136/bmj.i2343.

FITÓ, Montserrat.; et al., . Effect of a traditional Mediterranean diet on lipoprotein oxidation. *Archives of Internal Medicine*, v. 167, n. 11, p. 1195, 2007. DOI: 10.1001/archinte.167.11.1195.

FREITAS, Hércules. et al., Fatty acids, antioxidants and physical activity in brain aging. *Nutrients*, v. 9, n. 11, p. 1263, 2017. DOI: 10.3390/nu9111263.

GUASCH-FERRÉ, Marta et al., B. Olive oil consumption and cardiovascular risk in U.S. adults. *Journal of the American College of Cardiology*, v. 75, n. 15, p. 1729–1739, 2020. DOI: 10.1016/j.jacc.2020.02.036.

HOLSCHER, Hannah et al., Almond consumption and processing affects the composition of the gastrointestinal microbiota of healthy adult men and women: a randomized controlled trial. *Nutrients*, v. 10, n. 2, 2018. DOI: 10.3390/nu10020126.

JACOBS, David. R.; TAPSELL, Linda. C. Food, not nutrients, is the fundamental unit in nutrition. *Nutrition Reviews*, v. 65, n. 10, p. 439–450, 2008. DOI: 10.1111/j.1753-4887.2007.tb00269.x.

JOSEPH, James A.; SHUKITT-HALE, Barbara.; WILLIS, Lauren. M. Grape juice, berries, and walnuts affect brain aging and behavior. *The Journal of Nutrition*, v. 139, n. 9, p. 1813S–1817S, 2009. DOI: 10.3945/jn.109.108266.

KIMBLE, Rachel., et al. Effects of a mediterranean diet on the gut microbiota and microbial metabolites: A systematic review of randomized controlled trials and observational studies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(27), 8698–8719. 2023 <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2057416>

KUMARI Ankita, et al., Health-promoting role of dietary bioactive compounds through epigenetic modulations: a novel prophylactic and therapeutic approach. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2022;62(3):619-639. doi: 10.1080/10408398.2020.1825286.

LARSSON, S. C., & WOLK, A. Magnesium intake and risk of type 2 diabetes: a meta-analysis. *Journal of Internal Medicine*, 262(2), 208–214. 2007 <https://doi.org/10.1111/j.1365-2796.2007.01840.x>





LEGENDRE, Onica., BRESLIN, Paul. A; FOSTER, David. A. (-)-Oleocanthal rapidly and selectively induces cancer cell death via lysosomal membrane permeabilization. *Molecular & Cellular Oncology*, 2(4), 2015 e1006077. <https://doi.org/10.1080/23723556.2015.1006077>

LIDDER, Satnam; WEBB, Andrew. Vascular effects of dietary nitrate (as found in green leafy vegetables and beetroot) via the nitrate-nitrite-nitric oxide pathway. *British Journal of Clinical Pharmacology*, 75(3), 677–696.2013 <https://doi.org/10.1111/j.1365-2125.2012.04420.x>

LIU, Rui. Health-Promoting Components of Fruits and Vegetables in the Diet. *Advances in Nutrition*, 4(3), 384S-392S. 2013 <https://doi.org/10.3945/an.112.003517>

LUCAS, Lisa., RUSSELL, Aaron; KEAST, Russel. Molecular mechanisms of inflammation. Anti-inflammatory benefits of virgin olive oil and the phenolic compound oleocanthal. *Current Pharmaceutical Design*, 17(8), 754–768. 2011 <https://doi.org/10.2174/138161211795428911>

MA, Le; LIN, Xiao-Ming. Effects of lutein and zeaxanthin on aspects of eye health. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(1), 2–12. 2010. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3785>

MARTÍNEZ-LAPISCINA, Elena. et al., Mediterranean diet improves cognition: the PREDIMED-NAVARRA randomised trial. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 84(12), 1318–1325. 2013 <https://doi.org/10.1136/jnnp-2012-304792>

MITCHELL, Paul. et al., Age-related macular degeneration. *Lancet (London, England)*, 392(10153), 1147–1159. 2018 [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31550-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31550-2)

MORRIS, Martha. et al., Nutrients and bioactives in green leafy vegetables and cognitive decline. *Neurology*, 90(3). 2018 <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000004815>

NAGHSHI, Sina. et al., Dietary intake and biomarkers of alpha linolenic acid and risk of all cause, cardiovascular, and cancer mortality: systematic review and dose-response meta-analysis of cohort studies. *BMJ*, n2213. 2021 <https://doi.org/10.1136/bmj.n2213>

NAVRUZ-VARLI, Semra.; Sanlier, Nevin. Nutritional and health benefits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Cereal Science*, 69, 371–376. 2016 <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.05.004>

OTHMAN, Rgia. A., MOGHADASIAN, Mohammed; JONES, Peter. J. Cholesterol-lowering effects of oat β -glucan. *Nutrition Reviews*, 69(6), 299–309. 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2011.00401.x>

OMER E, CHIODI C. Fat digestion and absorption: Normal physiology and pathophysiology of malabsorption, including diagnostic testing. *Nutr Clin Pract*. 2024 Apr;39 Suppl 1:S6-S16. doi: 10.1002/ncp.11130.





PRENTICE, Ross. et al., Nutritional epidemiology and the Women's Health Initiative: a review. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 113(5), 1083–1092. 2021 <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqab091>

PRIOR, Ronald. et al., Whole Berries versus Berry Anthocyanins: Interactions with Dietary Fat Levels in the C57BL/6J Mouse Model of Obesity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(3), 647–653. 2018 <https://doi.org/10.1021/jf071993o>

REUTER, Simone. et al., Oxidative stress, inflammation, and cancer: How are they linked? *Free Radical Biology and Medicine*, 49(11), 1603–1616. 2010 <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2010.09.006>

ROS, Emilio; SINGH, Annapoorna; O'KEEFE, James. Nuts: Natural Pleiotropic Nutraceuticals. *Nutrients*, 13(9), 3269. 2021 <https://doi.org/10.3390/nu13093269>

SALAS-SALVADÓ, Jórdi. et al., Prevention of diabetes with Mediterranean diets: a subgroup analysis of a randomized trial. *Annals of Internal Medicine*, 160(1), 1–10. 2014 <https://doi.org/10.7326/M13-1725>

SALES-CAMPOS, Helioswilton., et al., An overview of the modulatory effects of oleic acid in health and disease. *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*, 13(2), 201–210. 2013 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23278117>

SCHAFFER, Sebastian; MÜLLER, Walter; ECKERT, Gunter P. Cytoprotective effects of olive mill wastewater extract and its main constituent hydroxytyrosol in PC12 cells. *Pharmacological Research*, 62(4), 322–327. 2010 <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2010.06.004>

SCHWINGSHACKL, Lukas et al., Food groups and intermediate disease markers: a systematic review and network meta-analysis of randomized trials. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 108(3), 576–586. 2018. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqy151>

SCOTECE, M., Oleocanthol inhibits proliferation and MIP-1 α expression in human multiple myeloma cells. *Current Medicinal Chemistry*, 20(19), 2467–2475. 2013. <https://doi.org/10.2174/0929867311320190006>

SIES, Helmut; JONES, Dean. Reactive oxygen species (ROS) as pleiotropic physiological signalling agents. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 21(7), 363–2020. 383. <https://doi.org/10.1038/s41580-020-0230-3>

SLAVIN, J. Fiber and Prebiotics: Mechanisms and Health Benefits. *Nutrients*, 5(4), 1417–1435. 2013 <https://doi.org/10.3390/nu5041417>

STADTMAN, E. R; LEVINE, R. L. Free radical-mediated oxidation of free amino acids and amino acid residues in proteins. *Amino Acids*, 25(3–4), 207–218. 2003 <https://doi.org/10.1007/s00726-003-0011-2>





SUN, Qi. White Rice, Brown Rice, and Risk of Type 2 Diabetes in US Men and Women. *Archives of Internal Medicine*, 170(11), 961. 2010. <https://doi.org/10.1001/archinternmed.2010.109>

TOSH, S. M. Review of human studies investigating the post-prandial blood-glucose lowering ability of oat and barley food products. *European Journal of Clinical Nutrition*, 67(4), 310–317. 2013 <https://doi.org/10.1038/ejcn.2013.25>

VAN HORN, Linda et al., Recommended Dietary Pattern to Achieve Adherence to the American Heart Association/American College of Cardiology (AHA/ACC) Guidelines: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation*, 134(22). 2016 <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000462>

VEGA-GÁLVEZ, Antonio., Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa willd.*), an ancient Andean grain: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(15), 2541–2547. 2010. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4158>

VITAGLIONE, Paola., Whole-grain wheat consumption reduces inflammation in a randomized controlled trial on overweight and obese subjects with unhealthy dietary and lifestyle behaviors: role of polyphenols bound to cereal dietary fiber. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 101(2), 251–261. 2015 <https://doi.org/10.3945/ajcn.114.088120>

WANG, Li et al., Anthocyanins in Black Raspberries Prevent Esophageal Tumors in Rats. *Cancer Prevention Research*, 2(1), 84–93. 2009 <https://doi.org/10.1158/1940-6207.CAPR-08-0155>

WEDICK, Nicole. et al. Dietary flavonoid intakes and risk of type 2 diabetes in US men and women. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 95(4), 925–933. 2012 <https://doi.org/10.3945/ajcn.111.028894>

WHITEHEAD, Anne. et al., Cholesterol-lowering effects of oat β -glucan: a meta-analysis of randomized controlled trials. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 100(6), 1413–1421. 2014. <https://doi.org/10.3945/ajcn.114.086108>

WORLD HEALTH ORGANIZATION. (2019). Healthy diet. World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/325828>

WU, Fengfeng.. et al., Germinated Brown Rice and Its Role in Human Health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(5), 451–463. 2013. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.542259>



Fitoterapia baseada em evidências: Fundamentos, desafios e perspectivas

Felipe Henrique Marrocco Patrício

Mestrando em Ciências Farmacêuticas
Universidade Estadual de Maringá - UEM
E-mail: felipemarrocopatricio@outlook.com

Marciele Alves Bolognese

Doutoranda em Ciências de Alimentos
Universidade Estadual de Maringá - UEM
E-mail:clinicabolognese@gmail.com

Simone Maria Altoé Porto

Doutoranda em Ciências de Alimentos
Universidade Estadual de Maringá - UEM
E-mail: simaltoe@gmail.com

RESUMO

A fitoterapia é uma prática milenar relevante que busca alinhar-se ao paradigma da Saúde Baseada em Evidências (SBE). Este capítulo analisa os fundamentos da fitoterapia baseada em evidências e discute os desafios para fortalecer sua produção científica. A metodologia consistiu em uma revisão narrativa com busca sistematizada nas bases PubMed e Scopus entre 2015 e 2025. Foram discutidos os critérios de validação clínica e os obstáculos impostos pela variabilidade fitoquímica, que prejudica a reprodutibilidade e a translação dos achados pré-clínicos. Foram identificadas limitações metodológicas em ensaios clínicos, como dificuldades no cegamento devido às características dos extratos, além de uma predominância de estudos experimentais sobre os clínicos. Como perspectivas, destacam-se o uso de ciências ômicas para padronização e a necessidade de políticas públicas e formação acadêmica rigorosa. Conclui-se que a superação de desafios metodológicos e a integração entre inovação e controle de qualidade são fundamentais para fortalecer a aplicação segura e racional da fitoterapia.

Palavras chave: padronização de extratos; sistema GRADE; reprodutibilidade dos resultados; metabolômica; ensaios clínicos randomizados.





ABSTRACT

Phytotherapy is a millenary and relevant practice that seeks to align with the Evidence-Based Health (EBH) paradigm. This chapter analyzes the foundations of evidence-based phytotherapy and discusses the challenges for strengthening its scientific production. The methodology consisted of a narrative review with a systematized search in the PubMed and Scopus databases between 2015 and 2025. Clinical validation criteria and the obstacles imposed by phytochemical variability, which hinders the reproducibility and translation of pre-clinical findings, were discussed. Methodological limitations in clinical trials were identified, such as difficulties in blinding due to extract characteristics, in addition to a predominance of experimental studies over clinical ones. Regarding perspectives, the use of omics sciences for standardization and the need for public policies and rigorous academic training stand out. It is concluded that overcoming methodological challenges and integrating innovation and quality control are fundamental to strengthening the safe and rational application of phytotherapy.

Keywords: Extract standardization; GRADE Approach; Reproducibility of results; Metabolomics; Randomized controlled trials.

Introdução

A fitoterapia é uma prática que permanece a milênios, sendo atualmente relevante nos níveis de atenção à saúde. O uso de plantas medicinais está historicamente atrelado ao conhecimento popular, por meio de infusões, emplastros e extratos produzidos a partir de espécies geralmente nativas de suas regiões. Ao longo do tempo, com o desenvolvimento científico e tecnológico, a fitoterapia passou a despertar crescente interesse científico, especialmente em práticas integrativas e complementares da medicina tradicional chinesa, resultando na busca de novos tratamentos a partir de produtos naturais (Pedroso; Andrade; Pires, 2021).

Simultaneamente, o incremento da Saúde Baseada em Evidências (SBE) mudou a forma como intervenções em saúde são avaliadas e incorporadas à prática profissional, criando-se um paradigma, procedente das práticas baseadas em evidências, entre a melhor evidência científica disponível sobre determinado fitoterápico e a tomada de decisão terapêutica mais qualificada e embasada. Nesse sentido, a evidência científica passa a ocupar papel central, sendo fundamental para orientar escolhas terapêuticas seguras, eficazes e justificáveis nos diferentes níveis de atenção à saúde (Connor et al., 2023).

Ademais, os produtos naturais possuem obstáculos quanto à validação do conhecimento científico devido a alguns fatores como a variabilidade em sua composição química, diferenças nas condições de cultivo, métodos de extração e ausência de padronização que impactam a reprodutibilidade dos estudos e na transição dos resultados pré-clínicos para os ensaios clínicos. Como consequência, tem-se uma predominância de evidências in-vitro em relação aos estudos clínicos relatados na literatura, influenciando diretamente no nível de evidência atribuído à fitoterapia (Karbwang et al., 2019; Parveen et al., 2015).

Essas lacunas evidenciam que os desafios da fitoterapia no contexto da SBE não se restringem apenas à escassez de estudos clínicos, mas envolvem aspectos estruturais do método científico, incluindo a complexidade intrínseca das plantas medicinais, bem como limitações relacionadas à infraestrutura de pesquisa, ao financiamento e ao desenvolvimento tecnológico, que impactam a qualidade metodológica dos estudos realizados, por exemplo, em instituições de ensino e pesquisa. Esses elementos contribuem para a variabilidade das evidências disponíveis e reforçam a necessidade de abordagens científicas integradas e rigorosas para o avanço da fitoterapia baseada em evidências (Ahn et al., 2025; Panossian, 2023).





Diante do exposto, vê-se a necessidade de analisar a fitoterapia com maior perspectiva crítica e fundamentada na SBE. Assim, este capítulo tem como objetivo analisar os fundamentos conceituais da fitoterapia baseada em evidências, bem como discutir os principais desafios e perspectivas para o fortalecimento da produção e avaliação do conhecimento científico nessa área, contribuindo para uma compreensão mais qualificada de seu papel no cuidado em saúde.

2. Tópicos sobre o tema

2.1 Fundamentos da fitoterapia baseada em evidências

O conceito de SBE pode ser definido metodologicamente como a integração operacional entre a melhor evidência de pesquisa disponível, a expertise clínica do profissional e os valores e preferências do paciente. O processo de SBE é estruturado em cinco etapas sequenciais de execução clínica: formulação da pergunta clínica; busca sistemática pela evidência; avaliação crítica da validade e aplicabilidade da evidência; integração da evidência com a expertise e características do paciente; e avaliação do desempenho da decisão tomada (De Groot et al., 2013).

Quanto à qualidade das evidências, a SBE utiliza sistemas de classificação hierárquica para categorizar a robustez dos dados. O sistema GRADE (*Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation*), amplamente adotado pela comunidade científica, padroniza e descreve os níveis de certeza da evidência científica, incluindo: revisões sistemáticas e metanálises de ensaios clínicos randomizados; ensaios clínicos randomizados; estudos de coorte; estudos caso-controle; série de casos e relatos de casos; e opinião de especialistas (Zeng et al., 2021).

A inserção da fitoterapia na SBE ocorre através da aplicação dos critérios de validação farmacêutica e clínica aos produtos de origem vegetal. Neste contexto, a fitoterapia transita do modelo de uso tradicional, baseado em histórico de uso seguro, para o modelo de uso racional, baseado em dados experimentais. A avaliação técnica de um fitoterápico é categorizada em três eixos descritivos fundamentais durante seu desenvolvimento, sendo eles a segurança, qualidade e eficácia do fitoterápico produzido (Atanasov et al., 2021)

No estudo de fitoterápicos, a avaliação da evidência científica envolve os seguintes conceitos, complexos, mas necessários para compreensão do tema:

- **Fitocomplexos:** mistura de substâncias ativas e coadjuvantes presentes na planta, cuja atividade biológica pode resultar do sinergismo entre os metabólitos e não da ação de uma única molécula;
- **Padronização de extratos:** processo que envolve a tecnologia farmacêutica destinado a reduzir a variabilidade da matéria-prima vegetal, causada por fatores externos inerentes a planta como solo, clima e época de colheita, sendo essencial para a reprodutibilidade por meio do uso de marcadores e análises cromatográficas.
- **Tipologia dos estudos:** nos estudos em fitoterapia, são desenvolvidas e utilizadas metodologias para avaliações pré-clínicas *in vitro* e *in vivo*, ensaios clínicos nas fases I, II e III, e revisões sistemáticas, se possível com metanálise (Atanasov et al., 2021; Caesar et al., 2021).





2.2 Desafios da fitoterapia baseada em evidências

A composição química de um fitoterápico altera-se por fatores biológicos e ambientais que influenciam diretamente a concentração dos metabólitos secundários, tornando-se um desafio na saúde baseada em evidência.

A fitoquímica da matéria prima vegetal é suscetível a fatores genéticos, edafoclimáticos e de processamento, extração e sazonalidade, que alteram a concentração de metabólitos secundários com atividade biológica e terapêutica. Essa variabilidade intrínseca impacta a bioequivalência, gerando perfis cromatográficos distintos que impedem a extrapolação de eficácia e segurança entre diferentes fabricantes ou lotes. Portanto, a padronização rigorosa é mandatória para minimizar essas oscilações e garantir que a intervenção clínica mantenha a reprodutibilidade dos desfechos terapêuticos (Heinrich et al., 2020).

Os Ensaios Clínicos Randomizados (ECRs) em fitoterapia enfrentam limitações metodológicas intrínsecas, iniciando pela dificuldade de cegamento devido às características organolépticas marcantes dos extratos, como cor, odor e sabor, o que compromete o uso de placebos idênticos. Somado a isso, há prevalência de amostras com poder estatístico insuficiente e curta duração de seguimento, limitando a avaliação da segurança em uso crônico e consequentemente a etapa de farmacovigilância. Ademais, a heterogeneidade das intervenções, variando em doses e métodos de extração, gera dados dispersos que dificultam a síntese de evidências robustas e a reprodutibilidade clínica (Pan et al., 2017).

No panorama da literatura científica em fitoterapia a predominância quantitativa de estudos pré-clínicos em comparação aos ensaios clínicos em humanos é maior. A síntese de evidências enfrenta desafios metodológicos específicos, uma vez que a natureza dos fitocomplexos dificulta a aplicação de metodologias clássicas desenvolvidas para medicamentos alopáticos. Consequentemente, a elaboração de revisões sistemáticas exige adaptações nos instrumentos de avaliação para capturar a validade das intervenções complexas, refletindo a complexidade intrínseca da pesquisa com produtos naturais (Panossian, 2023).

A incorporação clínica da fitoterapia é restringida pela heterogeneidade regulatória global, marcada pela divisão na classificação entre suplementos e medicamentos, o que gera inconsistências nos requisitos de evidência. A literatura aponta um 'gargalo translacional', onde a ausência de proteção patentária robusta desestimula o investimento industrial necessário para converter dados pré-clínicos em produtos registrados. Adicionalmente, a falta de harmonização internacional nas diretrizes de farmacovigilância limita o monitoramento sistemático de segurança, dificultando a consolidação da fitoterapia nos protocolos assistenciais padronizados (Hua et al., 2025).

2.3 Perspectivas da fitoterapia baseada em evidências

A barreira metodológica da fitoterapia tem se expandido através da integração de desenhos de estudo que superam o reducionismo clássico. Observa-se a ascensão de evidências que complementam os ECRs tradicionais ao validar a efetividade e a segurança em populações heterogêneas e cenários de uso habitual. Paralelamente, estratégias baseadas em sistemas de software e nas ciências ômicas, principalmente a metabolômica, são empregadas para entender a complexidade dos extratos, estabelecendo uma padronização química como pré-requisito mandatório para garantir a reprodutibilidade e a consistência dos desfechos clínicos (Peng et al., 2022).





Para que a fitoterapia se consolide como uma prática clínica robusta, a garantia da qualidade precisa ir muito além da inspeção visual da planta. O futuro dos estudos na área depende da rastreabilidade total do processo de fabricação de um fitoterápico seguindo Boas Práticas de Fabricação rigorosas, conforme as diretrizes e compêndios oficiais de cada país. Assim, a fitoquímica deixa de ser apenas uma etapa laboratorial para se tornar a base tecnológica que valida a evidência clínica (Wang et al., 2023).

Ademais, para que a fitoterapia deixe de ser uma prática isolada e se integre verdadeiramente à saúde pública como terapias complementares, é necessário um alinhamento estratégico entre governo e ciência. Políticas públicas eficazes não devem apenas regulamentar o mercado, mas fomentar ativamente a pesquisa de qualidade, criando uma ponte sólida para a Saúde Baseada em Evidências. Na ponta do cuidado, isso se traduz na criação de diretrizes e protocolos clínicos oficiais que orientem o médico e o farmacêutico, garantindo uma prescrição padronizada e segura. Além disso, é urgente reformular a formação acadêmica, preparando profissionais capazes de interpretar a ciência das plantas com o mesmo rigor técnico que aplicam aos medicamentos sintéticos (Najibi et al., 2025).

O futuro da fitoterapia consolida-se através de sua plena legitimação como campo de investigação de ponta, impulsionada pela interdisciplinaridade. A convergência entre farmácia, medicina e biotecnologia tem dissolvido o antigo estigma de 'terapia empírica', reposicionando o estudo das plantas como objeto científico robusto. Estudos recentes (2014-2024) confirmam uma ampliação significativa da produção acadêmica global focada em extratos padronizados e fitoquímica, indicando que a aplicação de métodos analíticos rigorosos está transformando a área em uma disciplina consolidada, onde a validação tecnológica substitui a desconfiança histórica pela aceitação baseada em dados reprodutíveis (El Allaoui et al., 2024).

3. Metodologia

Este trabalho foi desenvolvido seguindo os parâmetros de uma revisão narrativa da literatura, método indicado para a síntese e discussão crítica de conhecimentos consolidados sobre um determinado tema (Grant; Booth, 2009). A busca dos estudos foi realizada de forma sistematizada nas bases de dados *PubMed* e *Scopus*, considerando publicações entre 2015 e 2025, nos idiomas português e inglês. Foram utilizados descritores como “*herbal medicine*”, “*phytotherapy*”, “*integrative medicine*”, “*evidence-based medicine*”, “*regulatory challenges*” e “*ethnopharmacology*”, combinados com os operadores booleanos *AND* e *OR*. A seleção priorizou artigos de revisão, revisões sistemáticas e revisões de escopo (Green; Johnson; Adams, 2006).

4. Discussão / Desenvolvimento

A Saúde Baseada em Evidências organiza a tomada de decisão em saúde a partir de um processo estruturado, no qual a evidência científica ocupa papel central. Quanto às etapas que compõem esse processo, estas auxiliam na escolha terapêutica, que deixa de ser embasada apenas na experiência do profissional de saúde e passa a considerar, de forma sistemática, os dados disponíveis na literatura. A busca e a avaliação crítica das evidências contribuem para decisões mais qualificadas, ao integrar essas informações à expertise do profissional e às características do paciente, o que confere maior adequação às condutas terapêuticas. Dessa forma, a evidência científica torna-se elemento orientador das práticas em saúde (Triposkiadis; Brutsaert, 2025)





Em relação à qualidade das evidências, a utilização de sistemas de classificação hierárquica permite maior clareza quanto à robustez dos dados científicos disponíveis. Ferramentas como o sistema GRADE auxiliam na distinção entre estudos com maior ou menor nível de certeza, favorecendo uma interpretação mais crítica dos resultados. Essa hierarquização é particularmente relevante, pois orienta o peso atribuído a cada tipo de estudo no processo decisório. Assim, a avaliação da qualidade metodológica torna-se fundamental para sustentar recomendações mais seguras e coerentes com os princípios da saúde baseada em evidências (Brignardello-Petersen; Guyatt, 2025).

Nesse contexto, a composição fitoquímica dos fitoterápicos representa um dos principais desafios para a consolidação de evidências clínicas consistentes. A variabilidade decorrente de fatores genéticos, edafoclimáticos e de processamento interfere diretamente na concentração dos metabólitos secundários, impactando a padronização necessária para o desenvolvimento de uma formulação final. Essa instabilidade dificulta a definição de perfis cromatográficos reprodutíveis, condição essencial para a condução de ensaios clínicos randomizados. Assim, a padronização rigorosa dos extratos torna-se etapa indispensável para assegurar que os resultados clínicos reflitam, de fato, a intervenção investigada (Panossian, 2023).

Além disso, as limitações metodológicas intrínsecas aos ensaios clínicos randomizados em fitoterapia afetam diretamente a geração de evidências robustas e a translação dos resultados para o mercado. Dificuldades relacionadas ao cegamento, decorrentes das características organolépticas dos extratos, comprometem o uso de placebos adequados. Amostras reduzidas, curto tempo de seguimento e heterogeneidade nas doses e métodos de extração contribuem para dados dispersos e de difícil interpretação. Esses fatores retardam a consolidação da eficácia e da segurança necessárias para o registro e a incorporação de produtos fitoterápicos (Hu et al., 2025)

Em síntese, a prevalência de estudos pré-clínicos descritos na literatura em fitoterapia reflete, em grande parte, a complexidade metodológica envolvida na condução de estudos clínicos em humanos. Considerando a naturalidade das plantas, que impõe desafios adicionais à aplicação de metodologias clássicas desenvolvidas para medicamentos sintéticos, como exemplo as características organolépticas, tais fatores limitam a progressão para fases clínicas. Sequencialmente, a realização de revisões sistemáticas torna-se de extrema importância para organizar e interpretar as evidências disponíveis permitindo identificar padrões, lacunas e inconsistências nos dados (Ang et al., 2023).

Diante do exposto, observa-se a ascensão de evidências que passam a complementar os Ensaios Clínicos Randomizados tradicionais, especialmente ao considerar populações heterogêneas e cenários de uso habitual. Essa ampliação metodológica tem sido viabilizada pela incorporação de sistemas de software e pelas ciências ômicas, com destaque para a metabolômica, que permitem compreender a complexidade dos extratos vegetais de forma integrada. Associados a métodos cromatográficos, esses recursos contribuem para a caracterização química detalhada e para a padronização dos fitoterápicos, condição essencial para assegurar a reprodutibilidade dos resultados e a consistência dos desfechos clínicos (Zhang et al., 2023)

Por fim, para que a fitoterapia deixe de ser uma prática isolada e se integre à saúde pública, é preciso alinhar ciência, políticas públicas e a formação profissional. A consolidação dessa integração depende da elaboração de diretrizes e protocolos clínicos que orientem aos prescritores a prescrição dos fitoterápicos de forma segura, padronizada e racional. Nesse sentido, é de suma importância promover uma abordagem científica capaz de sustentar a fitoterapia como uma prática alinhada aos princípios da Saúde Baseada em Evidências (Dubale et al., 2025).





Considerações Finais

Conclui-se que a fitoterapia apresenta desafios metodológicos relevantes no contexto da Saúde Baseada em Evidências, especialmente aqueles relacionados à variabilidade fitoquímica das plantas medicinais e às dificuldades de padronização dos estudos. Essas características impõem limitações à produção de evidências clínicas consistentes, exigindo abordagens metodológicas capazes de contemplar a complexidade inerente aos produtos de origem vegetal.

Além disso, os desafios identificados não se restringem apenas à condução de estudos clínicos, mas abrangem aspectos estruturais da pesquisa científica, como a infraestrutura disponível, o financiamento e o desenvolvimento tecnológico, que se perpetua em diferentes países. Esses fatores influenciam diretamente a qualidade metodológica das investigações e contribuem para a heterogeneidade das evidências.

Nesse sentido, a integração entre inovação científica, controle de qualidade e evidência clínica mostra-se extremamente importante para o fortalecimento da fitoterapia enquanto prática segura e racional em saúde. O avanço nesse campo depende da consolidação de modelos de pesquisa que aliem conhecimento popular tradicional e ciência contemporânea, favorecendo sua integração responsável aos sistemas de saúde.





REFERÊNCIAS

AHN, Sangyoung et al. WHO global research priorities for traditional, complementary, and integrative (TCI) medicine: an international consensus and comparisons with LLMs. *Journal of Global Health*, v. 15, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.7189/jogh.15.04336>. Acesso em: 19 fev. 2026.

ANG, Lin et al. Mapping of systematic reviews on traditional medicine across health conditions: a protocol for a systematic map. *BMJ Open*, v. 13, n. 12, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2023-075215>. Acesso em: 19 fev. 2026.

ATANASOV, Atanas G. et al. Natural products in drug discovery: advances and opportunities. *Nature Reviews Drug Discovery*, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41573-020-00114-z>. Acesso em: 19 fev. 2026.

BRIGNARDELLO-PETERSEN, Romina; GUYATT, Gordon H. Assessing the certainty of the evidence in systematic reviews: importance, process, and use. *American Journal of Epidemiology*, v. 194, n. 6, p. 1681–1686, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/aje/kwae332>. Acesso em: 19 fev. 2026.

CAESAR, Lindsay K. et al. Metabolomics and genomics in natural products research: complementary tools for targeting new chemical entities. *Natural Product Reports*, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/d1np00036e>. Acesso em: 19 fev. 2026.

CONNOR, Linda et al. Evidence-based practice improves patient outcomes and healthcare system return on investment: findings from a scoping review. *Worldviews on Evidence-Based Nursing*, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/wvn.12621>. Acesso em: 19 fev. 2026.

DE GROOT, M. et al. Evidence-based practice for individuals or groups: let's make a difference. *Perspectives on Medical Education*, v. 2, n. 4, p. 216–221, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40037-013-0071-2>. Acesso em: 19 fev. 2026.

DUBALE, Sileshi et al. Traditional herbal medicine legislative and regulatory framework: a cross-sectional quantitative study and archival review perspectives. *Frontiers in Pharmacology*, v. 16, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fphar.2025.1475297>. Acesso em: 19 fev. 2026.

EL ALLAOUI, Hasnae et al. Trends and insights in medicinal plant extract research: a ten-year bibliometric and visualization study. *Horticulturae*, v. 10, n. 11, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/horticulturae10111163>. Acesso em: 19 fev. 2026.





GRANT, M. J.; BOOTH, A. A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information & Libraries Journal*, v. 26, n. 2, p. 91–108, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>. Acesso em: 19 fev. 2026.

GREEN, Bart N.; JOHNSON, Claire D.; ADAMS, Alan. Writing narrative literature reviews for peer-reviewed journals: secrets of the trade. *Journal of Chiropractic Medicine*, v. 5, n. 3, p. 101–117, 2006. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0899-3467\(07\)60142-6](https://doi.org/10.1016/S0899-3467(07)60142-6). Acesso em: 19 fev. 2026.

HEINRICH, Michael et al. Best practice in research: overcoming common challenges in phytopharmacological research. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 246, p. 112230, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2019.112230>. Acesso em: 19 fev. 2026.

HU, Yuyang et al. Challenges in Traditional Chinese Medicine clinical trials: how to balance personalized treatment and standardized research? *Therapeutics and Clinical Risk Management*, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.2147/TCRM.S523279>. Acesso em: 19 fev. 2026.

HUA, Hua et al. From traditional medicine to modern medicine: the importance of TCM regulatory science (TCMRS) as an emerging discipline. *Chinese Medicine*, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13020-025-01152-8>. Acesso em: 19 fev. 2026.

KARBWANG, Juntra et al. Herbal medicine development: methodologies, challenges, and issues. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2019/4935786>. Acesso em: 19 fev. 2026.

NAJIBI, Seyede Maryam et al. A scoping review of the barriers and facilitators in the use of traditional, complementary, and integrative medicine: insights for health policy development. *Journal of Health, Population and Nutrition*, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s41043-025-00934-y>. Acesso em: 19 fev. 2026.

PAN, Xin et al. Systematic review of the methodological quality of controlled trials evaluating Chinese herbal medicine in patients with rheumatoid arthritis. *BMJ Open*, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2016-013242>. Acesso em: 19 fev. 2026.

PANOSSIAN, Alexander. Challenges in phytotherapy research. *Frontiers in Pharmacology*, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1199516>. Acesso em: 19 fev. 2026.

PARVEEN, Abida et al. Challenges and guidelines for clinical trial of herbal drugs. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, v. 7, n. 4, p. 329–333, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.4103/0975-7406.168035>. Acesso em: 19 fev. 2026.

PEDROSO, Reginaldo dos Santos; ANDRADE, Gêssica; PIRES, Regina Helena. Medicinal plants: an approach to rational and safe use. *Physis*, v. 31, n. 2, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-73312021310218>. Acesso em: 19 fev. 2026.





PENG, Linjia et al. Real-world evidence of Traditional Chinese Medicine (TCM) treatment on cancer: a literature-based review. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2022/7770380>. Acesso em: 19 fev. 2026.

TRIPOSKIADIS, Filippou; BRUTSAERT, Dirk L. Evidence-based medicine: past, present, future. *Journal of Clinical Medicine*, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/jcm14145094>. Acesso em: 19 fev. 2026.

WANG, Hongting et al. Advancing herbal medicine: enhancing product quality and safety through robust quality control practices. *Frontiers in Pharmacology*, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1265178>. Acesso em: 19 fev. 2026.

ZENG, Linan et al. GRADE guidelines 32: GRADE offers guidance on choosing targets of GRADE certainty of evidence ratings. *Journal of Clinical Epidemiology*, v. 137, p. 163–175, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2021.03.026>. Acesso em: 19 fev. 2026.

ZHANG, Wenting et al. Integration of high-throughput omics technologies in medicinal plant research: the new era of natural drug discovery. *Frontiers in Plant Science*, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1073848>. Acesso em: 19 fev. 2026.



O Inimigo Invisível: Microbiologia de alimentos, patógenos emergentes e estratégias modernas de segurança alimentar

Pablo Ricardo Sanches de Oliveira

Doutorando em Ciências de Alimentos - Universidade Estadual de Maringá - UEM
E-mail: prsanchesoliveira@gmail.com

Anna Carla Ribeiro

Doutora em Biotecnologia Ambiental - Universidade Estadual de Maringá - UEM
E-mail: annacarlaribeiro1@gmail.com

Carolina Moser Paraíso

Doutora em Ciência de Alimentos - Universidade Estadual de Maringá - UEM
E-mail: cmparaiso@uem.br

Juliana Harumi Miyoshi

Doutora em Ciências Farmacêuticas - Universidade Estadual de Maringá - UEM
E-mail: jhm_1992@hotmail.com

Letícia Nishi

Doutora em Engenharia Química - Universidade Estadual de Maringá - UEM
E-mail: leticianishi12@gmail.com

Isabela Carolina Ferreira da Silva

Doutoranda em Ciências de Alimentos - Universidade Estadual de Maringá - UEM
E-mail: isabelacfes@gmail.com

Laiza Bergamasco Beltran

Doutoranda em Ciências de Alimentos - Universidade Estadual de Maringá - UEM
E-mail: laizabeltran@hotmail.com

Natalia Santos Pretes

Doutoranda em Ciências de Alimentos - Universidade Estadual de Maringá - UEM
E-mail: pg55783@uem.br

Rian Richard Santos de Farias

Doutorando em Ciências Biológicas - Universidade Estadual de Maringá - UEM
E-mail: rianrichardr@outlook.com

Leandro Pitta dos Santos

Graduando em Ciências Biológicas - Universidade Estadual de Maringá - UEM
E-mail: lepittasantos.15@gmail.com

Tainá Braganholi

Mestranda em Promoção da Saúde - Universidade de Maringá - UniCesumar
E-mail: taina_braganholi@hotmail.com





RESUMO

A segurança alimentar representa um desafio crítico à saúde pública e à estabilidade econômica global, dada a ameaça persistente de microrganismos patogênicos que não alteram as características sensoriais dos alimentos. Este trabalho teve como objetivo revisar a ecologia microbiana e as dinâmicas de contaminação na cadeia produtiva, destacando os desafios impostos por patógenos de alta virulência e resistência ambiental. A metodologia baseou-se em uma revisão integrativa da literatura recente sobre microbiologia de alimentos e tecnologias de mitigação. Os resultados ressaltam que a contaminação é um processo dinâmico do campo ao consumo influenciado por reservatórios animais, falhas em processos térmicos e a persistência de biofilmes e toxinas termoestáveis. Observou-se que a gestão de riscos convencional deve ser complementada por métodos rápidos de detecção e tecnologias de inativação não térmicas. Conclui-se que a garantia da segurança alimentar exige uma vigilância constante e a integração de inovações biotecnológicas para gerenciar ativamente as ameaças invisíveis no fornecimento global de alimentos.

Palavras-chave: Foodborne pathogens; *Listeria monocytogenes*; Biosensors; Non-thermal technologies.

ABSTRACT

Food safety represents a critical challenge to public health and global economic stability, given the persistent threat of pathogenic microorganisms that do not alter the sensory characteristics of food. This work aimed to review the microbial ecology and contamination dynamics in the production chain, highlighting the challenges posed by highly virulent pathogens and environmental resistance. The methodology was based on an integrative review of recent literature on food microbiology and mitigation technologies. The results emphasize that contamination is a dynamic process from field to consumption influenced by animal reservoirs, failures in thermal processes, and the persistence of biofilms and thermostable toxins. It was observed that conventional risk management should be complemented by rapid detection methods and non-thermal inactivation technologies. It is concluded that ensuring food safety requires constant vigilance and the integration of biotechnological innovations to actively manage invisible threats in the global food supply.

Keywords: Foodborne pathogens; *Listeria monocytogenes*; Biosensors; Non-thermal technologies.

Introdução: O Mundo Invisível na Nossa Mesa

A alimentação é um pilar fundamental da existência humana, essencial não apenas para a nutrição e sustentabilidade da vida, mas também como um elemento central de estabilidade social e desenvolvimento econômico. No entanto, o ato de comer carrega consigo um risco inerente e imperceptível a olho nu: a presença de microrganismos patogênicos. A segurança alimentar é, portanto, uma questão crítica de saúde pública global, com implicações que transcendem a saúde humana, abrangendo ramificações políticas e econômicas severas. Estima-se que as doenças transmitidas por alimentos (DTAs) causem milhões de enfermidades anualmente, resultando em centenas de milhares de hospitalizações e milhares de mortes, além de impor um fardo econômico de bilhões de dólares devido a despesas médicas e perda de produtividade (Huang et al., 2025).





O conceito de microbiologia de alimentos neste contexto foca no estudo desse "inimigo invisível" uma vasta gama de bactérias, vírus, parasitas e fungos que podem entrar no corpo humano através de alimentos ou água contaminados (Huang et al., 2025). Diferente da deterioração, que muitas vezes altera o cheiro ou a aparência do alimento, a contaminação patogênica é frequentemente indetectável sensorialmente pelo consumidor até que a ingestão ocorra. Entre os patógenos mais prevalentes e preocupantes mundialmente destacam-se bactérias como *Salmonella*, *Escherichia coli* (*E. coli*), *Campylobacter* e *Staphylococcus aureus*. Estes microrganismos são altamente adaptáveis e persistem em diversos ambientes, desde a produção primária até o processamento e armazenamento final (Huang et al., 2025; Kalapala et al., 2026).

A complexidade da segurança alimentar moderna reside na capacidade desses microrganismos de evoluir e resistir às intervenções humanas. Por exemplo, patógenos como *Salmonella* e *Campylobacter* continuam a desafiar a produção avícola e o processamento de alimentos, exigindo estratégias de intervenção constantes (Kalapala et al., 2026). Além disso, a emergência de estirpes resistentes e a capacidade de certas bactérias, como *Listeria monocytogenes* e *E. coli* O157:H7, de sobreviverem em condições adversas (como ambientes ácidos ou de baixa temperatura) tornam o controle um desafio contínuo (Sawale et al., 2025). A própria natureza biológica desses organismos permite que eles utilizem redes regulatórias complexas, como pequenos RNAs (sRNAs), para adaptar sua virulência e sobreviver a estresses ambientais e às defesas do hospedeiro humano, criando um ciclo vicioso de infecção e resistência (Cai et al., 2025).

Neste cenário, a segurança alimentar não é apenas a ausência de perigos, mas a gestão ativa de riscos. Isso envolve desde a detecção rápida e precisa de patógenos, superando as limitações dos métodos de cultura tradicionais que são lentos e trabalhosos, até a implementação de novas tecnologias de inativação e controle. A falha em detectar ou controlar esses agentes pode levar a surtos graves, com sintomas que variam de náuseas e vômitos a sepse e morte (Huang et al., 2025).

Este capítulo, portanto, visa desvendar a microbiologia por trás desses riscos ocultos. Ao entendermos quem são esses inimigos invisíveis, como eles operam em nível molecular e como contaminam nossa cadeia de suprimentos, podemos apreciar a importância vital das práticas de segurança alimentar. O "mundo invisível" na nossa mesa é dinâmico e perigoso, exigindo uma vigilância constante que vai do campo ao garfo.

2. Conceitos Fundamentais: Microbiota, Deterioração e Patógenos

Para compreender a segurança alimentar, é essencial dissecar a complexa ecologia microbiana que habita os nossos alimentos. O termo "microbiota" refere-se à comunidade de microrganismos presentes em um determinado ambiente, incluindo bactérias, vírus, fungos e parasitas. No contexto alimentar, essa comunidade não é monolítica; ela desempenha papéis distintos que variam desde a produção de alimentos fermentados até a causa de doenças fatais. A distinção entre microrganismos benéficos, deteriorantes e patogênicos é a pedra angular da microbiologia de alimentos.





2.1. A Tríade Microbiana: Benéficos, Deteriorantes e Patogênicos

Microorganismos Benéficos e Tecnológicos: Nem todos os microrganismos são inimigos. Muitos são essenciais para a produção de alimentos e para a saúde humana. Na produção de queijos de leite cru, por exemplo, a microbiota natural e as culturas iniciadoras (*starters*) competem com patógenos, criando um ambiente ácido e hostil para bactérias indesejadas através da fermentação (Della et al., 2026). Além disso, a microbiota intestinal humana desempenha um papel crucial na saúde, e certos alimentos podem modular essa comunidade positivamente (Cai et al., 2025).

Microorganismos Deteriorantes (*Spoilage Microorganisms*): A deterioração é um processo que torna o alimento inaceitável para o consumo devido a alterações sensoriais, como odor, sabor, textura ou aparência, resultando em perdas econômicas significativas e desperdício. É crucial notar que nem todas as bactérias que causam deterioração são patogênicas. Microorganismos como *Pseudomonas spp.* e certas leveduras e fungos (*Aspergillus*, *Penicillium*) são agentes comuns de deterioração, degradando proteínas e lipídios, o que reduz a vida útil de produtos como carnes, pescados e vegetais. Embora a deterioração seja um indicador de qualidade e higiene, um alimento deteriorado não causa necessariamente uma doença transmitida por alimentos (DTA), embora indique condições de armazenamento inadequadas que poderiam também favorecer patógenos (Alaguthevar et al., 2026).

Microorganismos Patogênicos: Os patógenos são o foco central da segurança alimentar. Estes organismos, incluindo bactérias, vírus, parasitas e fungos toxigênicos, podem causar doenças mesmo quando presentes em baixas doses ou através da produção de toxinas, muitas vezes sem alterar as características sensoriais do alimento (Huang et al., 2025; Kalapala et al., 2026). Os principais agentes bacterianos incluem *Salmonella*, *Campylobacter*, *Escherichia coli* produtora de toxina Shiga (STEC), *Listeria monocytogenes* e *Staphylococcus aureus* (Alaguthevar et al., 2026). A periculosidade destes agentes reside na sua capacidade de adaptação; eles utilizam redes regulatórias, como pequenos RNAs (sRNAs), para modular a virulência, sobreviver a estresses ácidos no estômago humano e resistir a antibióticos (Cai et al., 2025).

2.2. Dinâmica da Contaminação: Do Campo à Mesa

A contaminação dos alimentos não é um evento estático, mas um processo dinâmico que pode ocorrer em qualquer ponto da cadeia produtiva ("*farm-to-fork*"). Na tabela 1, podemos ver uma síntese de estudos de atribuição de fontes que identificaram que a contaminação ocorre através de vias complexas que incluem contato direto com animais, ambiente, água e contaminação cruzada durante o processamento (Davydova et al., 2025).

2.2.1 Contaminação na Produção Primária: A origem da contaminação frequentemente reside no reservatório animal ou ambiental.

- **Animais de Produção:** O gado leiteiro com mastite é um reservatório significativo de patógenos. O leite cru proveniente de animais infectados pode conter altas cargas de *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* e *Streptococcus spp.*. Se este leite não for pasteurizado ou se houver falhas no processo, esses patógenos entram diretamente na cadeia alimentar, podendo produzir enterotoxinas termoestáveis que resistem ao processamento térmico subsequente (Della et al., 2026).
- **Água e Ambiente:** A água é um vetor crítico. Em áreas como o Delta do Mekong, a intrusão salina e a escassez de água levam ao uso de fontes alternativas (águas superficiais ou subterrâneas) que podem estar contaminadas com coliformes, metais pesados ou resíduos de pesticidas, introduzindo perigos químicos e microbiológicos na produção agrícola e aquícola (Safitri et al., 2025).





Tabela 1: Síntese de Riscos Microbiológicos na Cadeia Alimentar

Fonte	Patógeno Principal	Via de Contaminação	Impacto na Saúde
Reservatórios Animais	<i>Salmonella</i> spp.	Contaminação fecal durante o abate/ordenha.	Salmonelose (gastroenterite aguda).
Ambiente de Processamento	<i>Listeria monocytogenes</i>	Formação de biofilmes em equipamentos e superfícies.	Listeriose (grave em grupos de risco).
Manipulação Humana	<i>Staphylococcus aureus</i>	Higiene inadequada; transferência de microbiota nasal/dérmica.	Intoxicação estafilocócica (toxinas estáveis).
Solo e Água	<i>Bacillus cereus</i>	Esporos resistentes que sobrevivem ao processamento térmico.	Síndrome emética ou diarreica.
Insumos Agrícolas	<i>E. coli</i> O157:H7	Irrigação com água contaminada ou adubação orgânica mal tratada.	Colite hemorrágica e SHU.

Fonte: (Autores, 2025)

2.2.2 Contaminação durante o Processamento e Distribuição: Uma vez fora da fazenda, o alimento enfrenta riscos adicionais:

Bactérias como *Listeria monocytogenes* e *Salmonella* têm a capacidade de formar biofilmes em superfícies de aço inoxidável e equipamentos industriais. Esses biofilmes protegem as bactérias contra desinfetantes e estresses ambientais, permitindo que elas persistam nas fábricas e contaminem continuamente os alimentos processados (Cai et al., 2025).

O processamento térmico inadequado ou o armazenamento em temperaturas incorretas permite a proliferação de patógenos. Por exemplo, em produtos acidificados "*clean-label*" (rótulo limpo) como molhos de salada, a sobrevivência de *E. coli* O157:H7 e *Listeria* depende do pH, da atividade de água e do tempo de retenção (*hold time*) antes da comercialização; se este tempo for insuficiente, os patógenos podem sobreviver e chegar ao consumidor (Sawale et al., 2025).

Vírus como Norovírus e Hepatite A são frequentemente introduzidos por manipuladores de alimentos infectados ou através de água contaminada usada na lavagem de produtos frescos (Alaguthevar et al., 2026). Toxicidade e Persistência: A contaminação não se limita à presença de células vivas. Bactérias como *Staphylococcus aureus* e *Bacillus cereus* produzem toxinas (enterotoxinas e cereulida, respectivamente) que são altamente resistentes ao calor e à digestão proteolítica. Isso significa que mesmo se o alimento for cozido e a bactéria eliminada, a toxina pré-formada pode permanecer ativa e causar intoxicação aguda rápida, caracterizada por vômitos severos. Além disso, em cenários domésticos, a interação com animais de estimação colonizados por *S. aureus* enterotoxigênico pode representar uma via negligenciada de contaminação cruzada para alimentos prontos para consumo (Kubota et al., 2022; Adeola Akinnibosun; Imade, 2024).

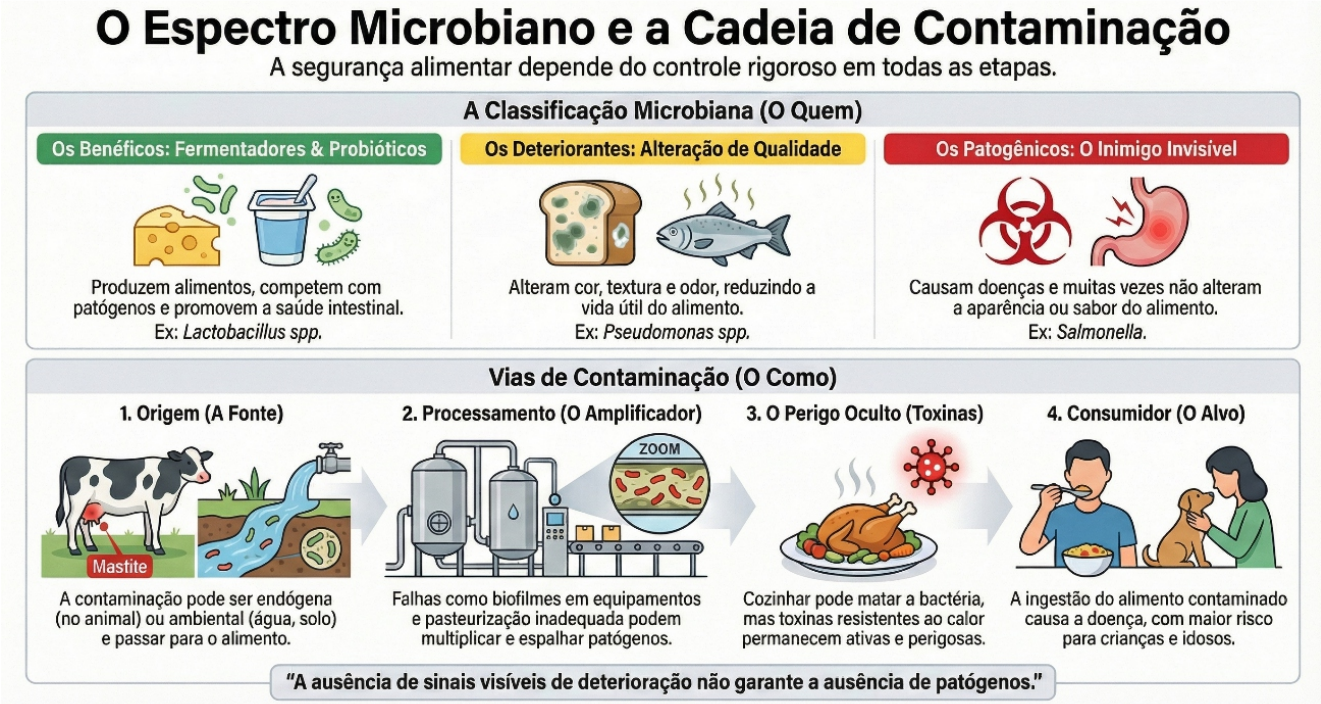
Compreender estes mecanismos é vital, pois a segurança alimentar moderna exige não apenas a detecção do patógeno, mas a gestão integrada de riscos que considera a ecologia microbiana, as vias de transmissão e a resistência dos microrganismos às intervenções tecnológicas.





A complexidade das interações entre a microbiota, os alimentos e as diversas vias de contaminação exigem uma síntese clara. Por essa razão, a Figura 1 é introduzida neste ponto. Este infográfico funciona como um mapa visual conciso, consolidando os conceitos fundamentais explorados nas seções anteriores. Ele organiza graficamente a "Tríade Microbiana" (benéficos, deteriorantes e patogênicos) e ilustra as "Vias de Contaminação" (da fonte ao consumidor), permitindo ao leitor assimilar de forma rápida e integrada tanto a classificação dos microrganismos quanto o processo dinâmico pelo qual os patógenos invisíveis chegam à mesa.

Figura 1: O Espectro Microbiano e a Cadeia de Contaminação



NotebookLM

Fonte: Elaborado com IA(Autores, 2025)

3. Metodologia

A base teórica deste trabalho foi fundamentada em uma revisão bibliográfica direcionada, utilizando a plataforma *ScienceDirect* como fonte primária de dados. A estratégia de busca envolveu a combinação dos descritores "*Foodborne Pathogens*", "*Food Poisoning*" e "*Food Safety*", com o intuito de mapear os estudos mais relevantes sobre a microbiologia e a saúde pública no contexto alimentar. Para manter a contemporaneidade das informações, foram considerados exclusivamente artigos científicos publicados no período dos últimos cinco anos e redigidos na língua Inglesa.





4. Os Patógenos de Alimentos mais Relevantes: Uma Revisão dos Principais Grupos

A diversidade de agentes biológicos capazes de comprometer a segurança alimentar é vasta, abrangendo bactérias, vírus, parasitas e fungos. A epidemiologia dessas doenças é dinâmica, influenciada por fatores como tipos de alimentos, métodos de processamento e condições ambientais. Compreender as características biológicas e os mecanismos de patogenicidade desses grupos é essencial para o desenvolvimento de estratégias de detecção e controle eficazes (Huang et al., 2025).

4.1. Bactérias: Os Agentes Predominantes

As bactérias representam a causa mais frequente de infecções e intoxicações alimentares. Elas podem ser categorizadas com base em sua morfologia (cocos ou bacilos), coloração de Gram e mecanismos de virulência (infecção invasiva ou produção de toxinas).

4.1.1. *Salmonella spp.* e *Campylobacter spp.*: Considerados os patógenos bacterianos mais prevalentes mundialmente, estes organismos são frequentemente associados a produtos avícolas (Huang et al., 2025; Kalapala et al., 2026). *Salmonella spp.*: É uma bactéria em forma de bastonete (bacilo) que causa salmonelose, caracterizada por febre, diarreia e dores abdominais. A infecção ocorre frequentemente através da ingestão de alimentos contaminados, como ovos, carne e vegetais (Huang et al., 2025). A sua persistência na cadeia produtiva é um desafio contínuo, exigindo métodos de detecção sensíveis, uma vez que a dose infecciosa pode variar (Kim et al., 2023).

4.1.2 *Campylobacter spp.*: Frequentemente detectado em frangos e perus, *C. jejuni* é uma das principais causas de gastroenterite bacteriana. Estudos indicam que intervenções como o tratamento por feixe de elétrons (*eBeam*) são eficazes na redução de sua carga em carnes de aves moídas (Huang et al., 2025).

4.1.3 *Escherichia coli* (*E. coli*): Embora muitas cepas de *E. coli* sejam comensais inofensivos, grupos patogênicos específicos representam sérios riscos. Destaca-se a *E. coli* produtora de toxina *Shiga* (STEC), como o serotipo O157:H7. Este patógeno é notório por sua baixa dose infecciosa e capacidade de causar doenças graves, como a síndrome hemolítico-urêmica (Huang et al., 2025; Kalapala et al., 2026). A contaminação está frequentemente associada a carne bovina mal cozida, leite cru e produtos frescos. Sua resistência a condições ácidas torna-o um desafio particular em produtos como molhos e sucos de frutas, onde pode sobreviver por períodos prolongados se o processamento não for adequado. Além disso, a *E. coli* é frequentemente utilizada como indicador de contaminação fecal e higiene precária na cadeia alimentar (Sawale et al., 2025; Kim et al., 2023).

4.1.4 *Staphylococcus aureus* e o Perigo das Toxinas : *S. aureus* é um coco Gram-positivo, ubíquo no ambiente e na microbiota humana e animal. A principal preocupação em segurança alimentar não é apenas a presença da bactéria, mas sua capacidade de produzir enterotoxinas termooestáveis (SEs) nos alimentos (Huang et al., 2025; Wan et al., 2023). Enterotoxinas Clássicas e Novas: Além das toxinas clássicas (SEA-SEE), novas variantes como a *enterotoxina-like X* (SEIX) têm sido identificadas com alta prevalência em cepas isoladas de surtos de intoxicação alimentar. Estudos recentes demonstraram que a SEIX possui atividade superantigênica e emética significativa, além de apresentar resistência ao calor e à digestão por pepsina, o que a torna um risco persistente mesmo após o cozimento ou digestão gástrica (Wan et al., 2023).

Uns dos principais agentes causadores de mastite em vacas leiteiras. O leite cru proveniente de animais infectados pode conter altas cargas bacterianas, e se não for pasteurizado ou refrigerado adequadamente, permite a produção de toxinas que persistem nos produtos lácteos (Della et al. 2026).





4.1.4. Bactérias Formadoras de Esporos: *Bacillus cereus* e *Clostridium perfringens*

Bacillus cereus: É responsável por dois tipos de doenças: a síndrome diarreica e a síndrome emética. A síndrome emética é causada pela toxina cereulida, um dodecadepsipeptídeo cíclico altamente resistente ao calor e ácidos, produzido no alimento antes do consumo. O diagnóstico é complexo, pois os laboratórios clínicos muitas vezes não testam rotineiramente para *B. cereus*, exigindo métodos de cultura específicos em casos suspeitos (Kubota et al., 2022).

Anaeróbico e formador de esporos, o *C. perfringens* tipo F tem sido identificado como um agente primário em intoxicações alimentares humanas, frequentemente associado ao consumo de carnes e molhos mantidos em temperaturas inadequadas. A resistência a múltiplos antibióticos em cepas isoladas de pacientes e alimentos é uma preocupação crescente (Ren et al., 2024).

Listeria monocytogenes Diferente de muitos outros patógenos, a *L. monocytogenes* é psicrótrófica, ou seja, capaz de crescer em temperaturas de refrigeração. Isso a torna um risco crítico em alimentos prontos para consumo (RTE), laticínios e carnes processadas (Huang et al., 2025; Della et al. 2026). A listeriose é particularmente perigosa para grupos vulneráveis, como gestantes, idosos e imunocomprometidos, apresentando altas taxas de hospitalização e mortalidade (Sawale et al., 2025; Kalapala et al., 2026).

4.2. Vírus: Contaminação e Persistência

Os vírus transmitidos por alimentos diferem das bactérias por não se multiplicarem nos alimentos; eles utilizam o alimento apenas como veículo para atingir o hospedeiro humano, onde a replicação ocorre. Caracterizam-se por uma baixa dose infecciosa e alta resistência a processos de conservação (Alaguthevar et al., 2026). Norovírus é a causa mais comum de gastroenterite viral e surtos de origem alimentar. A contaminação ocorre frequentemente através de manipuladores de alimentos infectados ou água contaminada utilizada na irrigação de produtos frescos ou no cultivo de moluscos bivalves (Alaguthevar et al., 2026).

O vírus da Hepatite A, Rotavírus e Sapovírus também são transmitidos via alimentos, especialmente mariscos, frutas e vegetais consumidos crus. A detecção viral em alimentos é desafiadora devido à baixa carga viral e à complexidade da matriz alimentar, exigindo métodos moleculares avançados ou tecnologias emergentes como a imagem hiperespectral para identificação (Alaguthevar et al., 2026).

4.3. Parasitas e Fungos Toxigênicos

Embora menos frequentes que as bactérias em termos de número absoluto de surtos, os parasitas representam um fardo significativo de doenças crônicas. *Cryptosporidium spp.*, *Giardia spp.* e *Toxoplasma gondii* são protozoários que podem contaminar a água e produtos frescos, ou estar presentes em carne mal cozida (no caso do *Toxoplasma*) (Zhou et al., 2026; Davydova et al. 2025). A transmissão ocorre frequentemente pela rota fecal-oral ou pelo consumo de tecidos animais infectados. Fungos dos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium* podem crescer em grãos e outros alimentos, produzindo micotoxinas como Aflatoxinas (AFB1), Ocratoxina A (OTA) e Zearalenona (ZEN). Estas toxinas possuem efeitos crônicos graves, incluindo imunotoxicidade, neurotoxicidade e carcinogenicidade (Zhou et al., 2026). A detecção precoce de fungos toxigênicos é crucial para evitar a entrada dessas toxinas na cadeia alimentar (Alaguthevar et al., 2026).

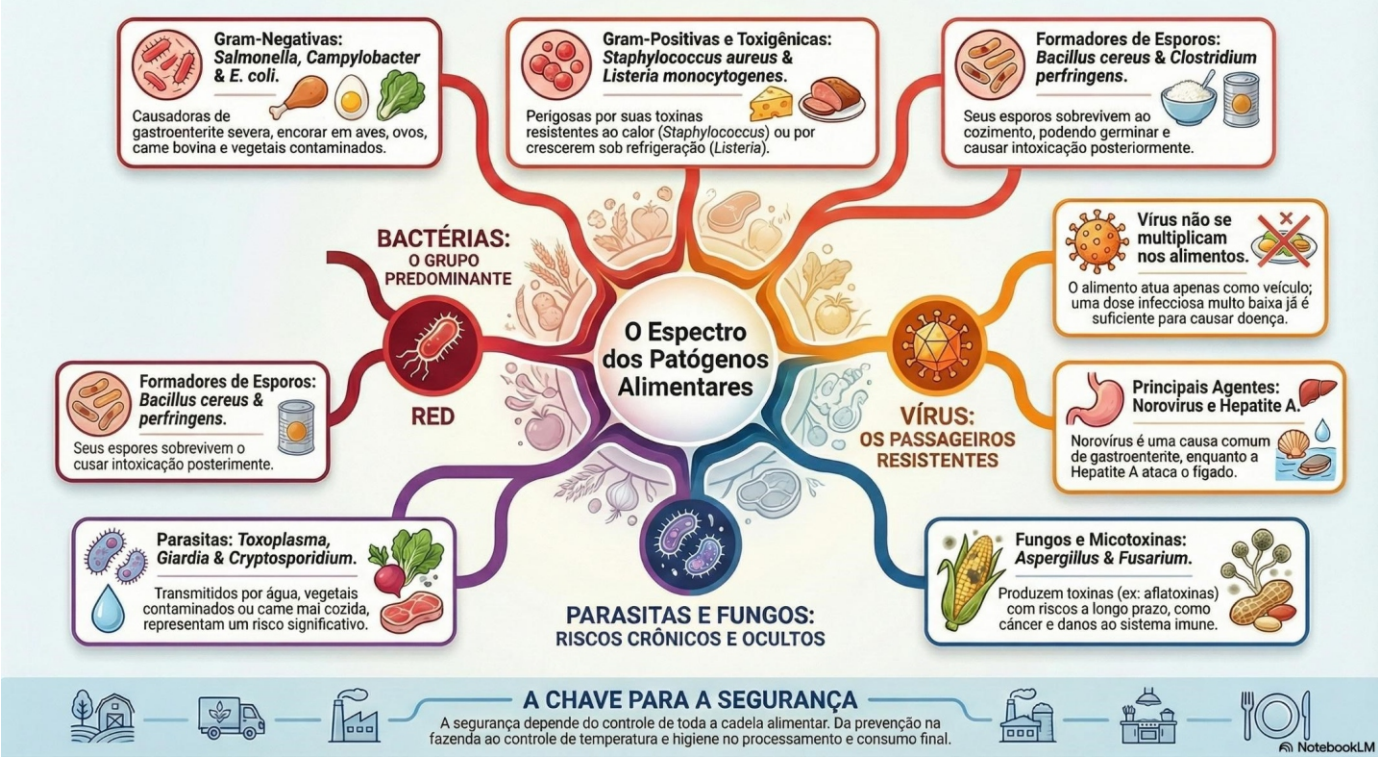
Em suma, o cenário dos patógenos alimentares é complexo, envolvendo uma variedade de organismos com diferentes mecanismos de sobrevivência e virulência. A identificação precisa, seja por métodos de cultura tradicionais, moleculares ou biossensores avançados, é o primeiro passo para garantir a segurança





alimentar global. Para facilitar a compreensão e a memorização desta complexa taxonomia e de seus riscos associados, a Figura 2, a seguir, sintetiza visualmente o espectro dos principais patógenos de origem alimentar, organizando suas características mais relevantes e o perigo que representam para o consumidor.

Figura 2: O Espectro dos Patógenos Alimentares



Fonte: Elaborado com IA (Autores, 2025)

5. Ficha Técnica dos Patógenos Chave: O "Big Four" da Segurança Alimentar

Nesta seção, dissecamos os perfis biológicos dos quatro patógenos bacterianos de maior relevância para a saúde pública e a indústria alimentícia, conforme destacado na literatura recente. A compreensão detalhada de sua biologia, vetores de transmissão e mecanismos de resistência é fundamental para a aplicação das tecnologias de intervenção discutidas (como plasma frio, irradiação e biossensores).

5.1 *Salmonella* spp. (com ênfase em *S. Typhimurium* e *S. Enteritidis*)

- Classificação e Morfologia:** Bactéria Gram-negativa, em forma de bastonete (bacilo), pertencente à família *Enterobacteriaceae*. É um dos patógenos mais prevalentes globalmente, frequentemente associado a surtos graves (Huang et al., 2025; Hou et al., 2025).
- Doença (Salmonelose):** A infecção causa gastroenterite aguda. Os sintomas incluem náuseas, vômitos, cólicas abdominais, diarreia, febre e dor de cabeça. Embora geralmente autolimitada, pode evoluir para septicemia e morte em grupos vulneráveis (imunocomprometidos, idosos, crianças). Estima-se que cause milhões de doenças e milhares de mortes anualmente (Huang et al., 2025; Hou et al., 2025).





- *Fontes e Vetores de Transmissão:* Reservatórios Animais: Aves (frangos, perus), suínos e bovinos são os principais reservatórios. Ovos e carne de aves são as fontes alimentares mais comuns globalmente (Davydova et al. 2025). Estudos de atribuição de fontes indicam que frangos de corte (broilers) e ovos são os principais vetores na Europa e nas Américas. Em produtos como carne moída de frango e peru, a contaminação é um desafio persistente devido à mistura durante o processamento (Davydova et al. 2025; Kalapala et al., 2026). Capaz de sobreviver em ambientes com baixa atividade de água e formar biofilmes em superfícies de aço inoxidável, o que dificulta a higienização industrial (Kalapala et al., 2026).

5.1.1 Mecanismos de Resistência e Persistência

- *Adaptação Ácida:* *Salmonella* demonstra capacidade de sobrevivência em ambientes ácidos. Em estudos com molhos de salada acidificados (pH 3.3), *S. Typhimurium* exigiu tempos de retenção de até 26 horas para uma redução de 5-log, demonstrando resistência significativa a ácidos orgânicos como o acético (Sawale et al., 2025).
- *Estado VBNC:* Sob estresse térmico (como em micro-ondas) ou químico, pode entrar em estado "Viável Mas Não Cultivável" (VBNC), tornando-se indetectável por métodos de cultura padrão, mas mantendo a patogenicidade potencial (Luo et al., 2025).

5.1.2 Estratégias de Detecção e Controle Avançado

- *Detecção:* Métodos baseados em DNAsimas e CRISPR/Cas12a têm mostrado alta sensibilidade (LOD de 20-50 CFU/mL) para detecção rápida. O uso de fagos imobilizados em nanozimas (ex: SalmpYZU54@FeCoCe NF) permite detecção colorimétrica específica em matrizes complexas (Huang et al., 2025; Tan et al., 2025). *Controle:* O tratamento com feixe de elétrons (eBeam) em doses de 1 a 2 kGy mostrou-se eficaz na redução de *Salmonella* em carne de aves moída. O plasma frio atmosférico também demonstra eficácia através da oxidação de componentes celulares (Kalapala et al., 2026; Deng et al. 2025).

5.2 *Escherichia coli* O157:H7 (STEC - Produtora de Shiga Toxina)

- *Classificação e Morfologia:* Bactéria Gram-negativa, em forma de bastonete. Enquanto muitas cepas de *E. coli* são comensais, o sorotipo O157:H7 é um patógeno enterohemorrágico notório (Huang et al., 2025). *Doença:* Causa colite hemorrágica (diarreia com sangue) e pode levar à Síndrome Hemolítico-Urêmica (SHU), uma condição potencialmente fatal que causa insuficiência renal, especialmente em crianças. A dose infecciosa é extremamente baixa (estimada em <100 células) (Sawale et al., 2025; Della et al. 2026).

5.2.1 Fontes e Vetores de Transmissão

- *Reservatórios:* O gado bovino é o principal reservatório. A contaminação ocorre frequentemente através de carne bovina mal cozida, leite cru e contaminação cruzada via água ou ambiente (Davydova et al. 2025). *Produtos Frescos:* Surtos associados a produtos frescos (alface, espinafre) irrigados com água contaminada têm aumentado (Davydova et al. 2025; Deng et al. 2025). *Leite:* Mastite em vacas pode ser uma via de introdução de *E. coli* no leite cru, representando um risco significativo se consumido sem pasteurização (Della et al. 2026).





5.2.2 Mecanismos de Resistência e Persistência:

- **Extrema Tolerância Ácida:** *E. coli* O157:H7 é excepcionalmente resistente a ambientes ácidos. Estudos cinéticos em molhos com pH 3.3 mostraram que este patógeno sobreviveu por mais tempo que *Salmonella* e *Listeria*, exigindo quase 30 horas para inativação em certas matrizes. Mecanismos incluem sistemas de descarboxilação de aminoácidos e modificações na membrana externa para reduzir o influxo de prótons (Sawale et al., 2025). **Biofilmes:** Forma biofilmes robustos que conferem resistência a sanitizantes e estresses ambientais (Luo et al., 2025).

5.2.3 Estratégias de Detecção e Controle Avançado:

- **Detecção:** Sensores baseados em aptâmeros e amplificação isotérmica (como LAMP e RCA) permitem a detecção de células inteiras sem extração de DNA, agilizando o diagnóstico. Tiras de fluxo lateral com nanopartículas de ouro (AuNPs) modificadas oferecem detecção visual rápida (Huang et al., 2025; Hou et al., 2025).
- **Controle:** Tecnologias não térmicas como o plasma frio causam danos oxidativos severos à membrana celular e ao DNA, sendo eficazes na inativação em superfícies de alimentos frescos (Deng et al. 2025; Luo et al., 2025). A irradiação com feixe de elétrons (eBeam) em doses baixas (1 kGy) reduz significativamente a carga em carnes (Kalapala et al., 2026).

5.3 *Listeria monocytogenes*

- **Classificação e Morfologia:** Bactéria Gram-positiva, em forma de bastonete, não formadora de esporos. É um patógeno oportunista ubíquo no ambiente (Kim et al., 2023). **Doença (Listeriose):** A listeriose invasiva é grave, com alta taxa de mortalidade (20-30%) e hospitalização (94%). Afeta principalmente imunocomprometidos, idosos e gestantes (causando aborto espontâneo ou natimorto). Pode causar meningite, encefalite e seps (Sawale et al., 2025).

5.3.1 Fontes e Vetores de Transmissão:

- **Alimentos Prontos para Consumo (RTE):** Devido à sua capacidade de crescer em temperaturas de refrigeração (psicrotrófica), é um risco crítico em carnes processadas, queijos de leite cru, saladas e peixes defumados (Kim et al., 2023; Della et al. 2026). **Ambiente de Processamento:** Persiste em fábricas de alimentos formando biofilmes em drenos e equipamentos, levando à recontaminação pós-processamento (Kim et al., 2023).

5.3.2 Mecanismos de Resistência e Persistência:

- **Psicrotrofia:** Cresce entre 0°C e 45°C, desafiando a conservação pelo frio (Sawale et al., 2025). **Resistência a Estresse:** Embora menos resistente a ácidos que *E. coli* O157:H7, adapta-se bem a estresses osmóticos (alto teor de sal) (Sawale et al., 2025). **Biofilmes:** A formação de biofilmes protege a bactéria contra desinfetantes e tratamentos térmicos leves. Em queijos de leite cru, pode sobreviver ao processo de maturação se a contaminação inicial for alta (Della et al. 2026).





5.3.3 Estratégias de Detecção e Controle Avançado:

- *Detecção:* O uso de anticorpos orientados em nanopartículas de ouro em testes de fluxo lateral (LFIA) melhorou significativamente a sensibilidade de detecção (Hou et al., 2025). Métodos baseados em imagem hiperespectral (HSI) estão sendo explorados para detecção não invasiva em produtos como presunto fatiado (Alaguthevar et al., 2026). Controle: Intervenções com plasma frio demonstraram eficácia na inativação de *L. monocytogenes* em superfícies de alimentos e embalagens. O uso de filmes biodegradáveis ativos incorporados com óleos essenciais ou nisina mostra-se promissor para inibir o crescimento em produtos embalados (Kumar et al., 2025).

5.4. *Staphylococcus aureus* (Patógeno Toxigênico)

- *Classificação e Morfologia:* Coco Gram-positivo, coagulase-positivo. É um habitante comum da pele e mucosas de humanos e animais, mas certas cepas produzem potentes enterotoxinas (Huang et al., 2025; Wan et al., 2023). Doença (Intoxicação Estafilocócica): Causada pela ingestão de enterotoxinas pré-formadas no alimento, e não pela infecção bacteriana em si. Sintomas rápidos (30 min a 8 h) incluem náuseas severas, vômitos violentos e cólicas abdominais (Huang et al., 2025; Kalapala et al., 2026). Novas variantes de toxinas, como a enterotoxina-like X (SEIX), demonstraram forte atividade emética e resistência (Wan et al., 2023).

5.4.1 Fontes e Vetores de Transmissão:

- *Manipulação Humana:* Contaminação por manipuladores de alimentos infectados ou portadores assintomáticos. Origem Animal: Mastite em vacas leiteiras é uma fonte primária de contaminação do leite cru (Della et al. 2026). Estudos mostram alta prevalência de genes de enterotoxinas em isolados de mastite (Wan et al., 2023). Animais de Estimação: Cães de companhia podem ser reservatórios de *S. aureus* enterotoxigênico, representando um risco de transmissão doméstica e contaminação cruzada (Adeola et al., 2024).

5.4.2 Mecanismos de Resistência e Persistência:

- *Termoestabilidade das Toxinas:* Embora a bactéria possa ser eliminada por cozimento ou pasteurização, as enterotoxinas (incluindo SEIX) são altamente resistentes ao calor, congelamento e enzimas digestivas (pepsina/tripsina), persistindo no alimento processado (Wan et al., 2023). Resistência Osmótica: Cresce em atividades de água reduzidas e altas concentrações de sal, permitindo proliferação em carnes curadas e queijos (Sawale et al., 2025).

5.4.3 Estratégias de Detecção e Controle Avançado:

- *Detecção:* Biossensores baseados em amplificação isotérmica (LAMP/RCA) acoplados a CRISPR/Cas oferecem detecção ultrasensível (Huang et al., 2025; Kalapala et al., 2026). Controle: A prevenção da formação da toxina é crucial, pois a inativação posterior é difícil. O controle rigoroso da temperatura (cadeia de frio) é essencial para evitar que a bactéria atinja a densidade populacional necessária para a produção de toxinas (Della et al. 2026).





Considerações finais

Este capítulo examina a complexa batalha contra patógenos alimentares invisíveis, como *Salmonella*, *E. coli* e *Listeria*. Exploramos a distinção vital entre microrganismos deteriorantes e patogênicos, e como estes últimos utilizam mecanismos moleculares sofisticados, como redes de sRNA e formação de biofilmes, para persistir na cadeia alimentar.

A garantia da segurança alimentar exige uma transição urgente de métodos reativos para uma vigilância proativa e de alta precisão. Conforme explorado neste capítulo, os patógenos alimentares não são estáticos; organismos como *Salmonella*, *E. coli* O157:H7 e *S. aureus* são altamente adaptáveis, utilizando mecanismos complexos como tolerância ácida e formação de biofilmes para persistir do campo à mesa. A distinção crucial entre deterioração visível e contaminação patogênica silenciosa reforça que a inspeção sensorial isolada é insuficiente para garantir a inocuidade dos alimentos.

No âmbito industrial, o "próximo nível" de vigilância depende da integração de tecnologias emergentes. A substituição ou complementação de métodos de cultura tradicionais, que levam dias, por biossensores rápidos baseados em DNAsimas, aptâmeros e sistemas CRISPR/Cas permite a detecção de contaminações com alta sensibilidade e especificidade antes que os produtos cheguem ao varejo. Adicionalmente, a implementação de tecnologias de intervenção não térmica, como o tratamento por feixe de elétrons (*eBeam*), provou ser eficaz na redução de cargas patogênicas, oferecendo uma barreira crítica de segurança sem comprometer a qualidade sensorial dos alimentos.

Revisamos tecnologias de ponta para detecção e controle, incluindo biossensores CRISPR/Cas, intervenções por plasma frio e imagem hiperespectral. No entanto, destacamos limitações críticas: a interferência de matrizes alimentares complexas na detecção, a não uniformidade em tratamentos térmicos inovadores e a escassez de dados toxicológicos a longo prazo.

Contudo, a tecnologia industrial deve ser paritária à vigilância no preparo doméstico. A existência de toxinas termoestáveis, como as de *S. aureus*, que permanecem ativas mesmo após o cozimento eliminar as bactérias, destaca que o controle rigoroso da temperatura e a prevenção da contaminação cruzada continuam sendo defesas vitais. Em última análise, a segurança alimentar é uma responsabilidade compartilhada que demanda a convergência entre monitoramento molecular avançado na indústria e educação preventiva contínua para o consumidor.

O futuro da segurança alimentar exige uma abordagem multidisciplinar, integrando Inteligência Artificial para modelagem preditiva, embalagens inteligentes biodegradáveis e vigilância global harmonizada. A transição de métodos reativos para sistemas proativos e precisos é essencial para garantir a segurança alimentar global.





REFERÊNCIAS

ADEOLA, Morenike O.; AKINNIBOSUN, Faith I.; IMADE, Odaro S. A model of staphylococcal food poisoning scenario mediated by companion dogs colonized by enterotoxin-producing *Staphylococcus aureus*. *The Microbe*, v. 5, p. 100178, 2024. DOI: 10.1016/j.microb.2024.100178.

ALAGUTHEVAR, Ramalakshmi; AKILA, Duraisamy; MURUGESAN, Balakrishnan; MUNIRAJ, Iniyakumar; KHAN, Ajahar; RHIM, Jong Kook. Use of hyperspectral imaging for the early detection of foodborne pathogens. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, v. 259, p. 115315, 2026. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2025.115315.

CAI, Linlin; WANG, Huhu; XIE, Yunting; XU, Xing-Lian; et al. sRNA networks as molecular switches: Decoding foodborne bacterial pathogen adaptation from farm to fork to clinic and prospects for next-generation precision interventions. *Trends in Food Science & Technology*, v. 168, p. 105471, 2025. DOI: 10.1016/j.tifs.2025.105471.

DAVYDOVA, Aleksandra; FASTL, Christina; MUGHINI-GRAS, Lapo; BAI, Li; KUBOTA, Kunihiro; HOFFMANN, Sandra; RACHMAWATI, Tety; PIRES, Sara m. Source attribution studies of foodborne pathogens, 2010–2023: a review and collection of estimates. *Food Microbiology*, v. 131, p. 104812, 2025. DOI: 10.1016/j.fm.2025.104812.

DELLA, Della; MILLAR, Rachael; PELLEGRINO, Andrea; DOGAN, Onay Burak; TIWARI, Uma; BOLONA, Pablo Silva; DUFFY, Geraldine; BERNINI, Valentina; O'BRIEN, Triona. An integrated qualitative farm-to-fork approach to rank foodborne pathogens associated with mastitis-affected raw milk from Irish dairy farms to the consumer. *Food Control*, v. 179, p. 111583, 2026. DOI: 10.1016/j.foodcont.2025.111583.

DENG, Shuang; SHENG, Xiaowei; DONG, Pengfei; WANG, Youfa; WEI, Qiaoyun; QIAN, Jing; ZHANG, Jianhao; WANG, Jin; RAGHAVAN, Vijaya. Safety assessment of cold plasma technology in food: From molecular modification to toxicological analysis. *Food Chemistry*, v. 495, p. 146573, 2025. DOI: 10.1016/j.foodchem.2025.146573.

HOU, Silu; LIN, Tong; DING, Ziyi; CUI, Shuxin; CAO, Yafei; JIAO, Jingbo; KANG, Qing; DU, Xinjun. Nanoparticles-based lateral flow immunochromatographic strip for detection of foodborne pathogen: a review. *Food Chemistry*, v. 496, p. 146595, 2025. DOI: 10.1016/j.foodchem.2025.146595.

HUANG, Yaxin; ZHANG, Yumeng; YANG, Kui; LI, Baolin; LI, Guangrong; LIU, Jinbo. Advances in biosensor strategies for detecting foodborne pathogens via enzyme-assisted isothermal amplification. *Microchemical Journal*, v. 218, p. 115473, 2025. DOI: 10.1016/j.microc.2025.115473.

KALAPALA, Tanmaie; ARSI, Komala; ASSUMPCAO, Anna I. f. v.; KUMAR-PHILLIPS, Geetha; PERERA, Ruvindu; PRICE, Jacqueline; DONOGHUE, Annie; OBE, Tomi; HARHAY, Dayna; PILLAI, Suresh d.; OWENS, Casey m.; JESUDHASAN, Palmy r. r. Research note: Application of electron beam technology to reduce foodborne pathogens in ground chicken and turkey meats. *Poultry Science*, v. 105, n. 1, p. 106110, 2026. DOI: 10.1016/j.psj.2025.106110.





KIM, Hong-Rae; BONG, Ji-Hong; KANG, Min-Jung; SHIM, Won-Bo; LEE, Jeong-Soo; PYUN, Jae-Chul. One-step immunoassay based on filtration for detection of food poisoning-related bacteria. *Talanta*, v. 255, p. 124203, 2023. DOI: 10.1016/j.talanta.2022.124203.

KUBOTA, Noriko; KOBAYASHI, Jun; KASAI, Ayaka; NASUNO, Masaru; MURAI, Takashi; MINAMI, Koji; OHTA, Michiko. Detection of *Bacillus cereus* as a causative agent of emetic food poisoning by an unconventional culture procedure. *Journal of Infection and Chemotherapy*, v. 28, n. 11, p. 1575–1577, 2022. DOI: 10.1016/j.jiac.2022.07.011.

KUMAR, Anand; KUMAR, Ajay; WEI, Shuai; CHOPRA, Sangeeta; GAUR RUDRA, Shalini; RABBANI, Ahmad. Biodegradable and smart packaging films for food quality and safety: a review. *Applied Food Research*, v. 5, n. 2, p. 101491, 2025. DOI: 10.1016/j.afres.2025.101491.

LUO, Kunyao; YUAN, Tao; YANG, Huayu; YAN, Bowen; ZHANG, Hao; CHEN, Wei; FAN, Daming. Recent advances in microwave inactivation of foodborne pathogens: Key factors, mechanisms, and future perspectives. *Trends in Food Science & Technology*, v. 165, p. 105338, 2025. DOI: 10.1016/j.tifs.2025.105338.

REN, Yanyan; LV, Xiaoyang; XU, Wenping; LI, Yanyan; LIU, Lixue; KONG, Xinyue; WANG, Hairong. Characterization and multilocus sequence typing of *Clostridium perfringens* isolated from patients with diarrhoea and food poisoning in Tai'an region, China. *Journal of Global Antimicrobial Resistance*, v. 36, p. 160–166, 2024. DOI: 10.1016/j.jgar.2023.12.017.

SAFITRI, Rosa a.; BOUWMAN, Lianne m. s.; SIEGMUND-SCHULTZE, Marianna; NHAN, Tri minh; ISLAM, Mohammed ariful; VAN ASSELT, Esther d.; VAN DONGEN, Katja c. w. Framework for early assessment of food safety hazards in the transition to a more sustainable food system: three case studies in the Vietnamese Mekong Delta. *Journal of Agriculture and Food Research*, v. 23, p. 102262, 2025. DOI: 10.1016/j.jafr.2025.102262.

SAWALE, Manoj; MEHTA, Halak; SINGH, Amandeep; TAYLOR, Rhonda; et al. A challenge study of foodborne pathogens in clean-label acidified dressings: Cold-fill kinetic modeling study. *Applied Food Research*, v. 5, n. 2, p. 101458, 2025. DOI: 10.1016/j.afres.2025.101458.

TAN, Mengyuan; LI, Xin; GAO, Lu; HU, Qin. Simultaneous detection of multispecies foodborne pathogens using multiple phage-functionalized nanozyme. *Journal of Hazardous Materials*, v. 499, p. 140266, 2025. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2025.140266.

WAN, Yangli; YANG, Liu; LI, Qianhong; WANG, Xiaowen; ZHOU, Ting; CHEN, Dishu; LI, Li; WANG, Yeru; WANG, Xin. Stability and emetic activity of enterotoxin like X (SEIX) with high carrier rate of food poisoning *Staphylococcus aureus*. *International Journal of Food Microbiology*, v. 404, p. 110352, 2023. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2023.110352.



Compostos Bioativos em alimentos: Fontes, extração e mecanismos de ação

Isabela Carolina Ferreira da Silva

Doutoranda em Ciência de Alimentos
Universidade Estadual de Maringá - UEM
E-mail: isabelacfes@gmail.com

Pablo Ricardo Sanches de Oliveira

Doutorando em Ciência de Alimentos
Universidade Estadual de Maringá - UEM
E-mail: prsanchesoliveira@gmail.com

RESUMO

Os compostos bioativos naturais têm ganhado destaque na ciência de alimentos por oferecerem benefícios à saúde que transcendem a nutrição básica, atuando na prevenção de doenças crônicas mediante mecanismos antioxidantes e anti-inflamatórios. Este capítulo tem como objetivo reunir e integrar conhecimentos atuais sobre a classificação, fontes, métodos de extração e a atuação fisiológica dessas substâncias. A metodologia adotada consistiu em uma revisão bibliográfica integrativa de literatura recente, priorizando estudos sobre inovações tecnológicas e sustentabilidade na cadeia produtiva. O texto detalha as principais classes de bioativos, como polifenóis e carotenoides, e destaca a tendência emergente de valorização de resíduos agroindustriais, transformando subprodutos como cascas e sementes em ingredientes de alto valor, em concordância com a economia circular. São discutidas as vantagens das tecnologias de extração verde, como fluidos supercríticos, em detrimento dos métodos convencionais. Além disso, abordam-se os mecanismos moleculares de proteção celular e a interação com a microbiota intestinal. Contudo, enfatiza-se que a eficácia terapêutica enfrenta gargalos críticos relacionados à estabilidade, bioacessibilidade e biodisponibilidade no trato gastrointestinal. Conclui-se que o desenvolvimento de alimentos funcionais eficazes depende da aplicação de tecnologias de encapsulação e processamento que garantam a absorção desses compostos, unindo promoção da saúde humana e responsabilidade ambiental.

Palavras-chave: Fitoquímicos; Alimentos funcionais; Biodisponibilidade; Valorização de resíduos; Tecnologias verdes.





ABSTRACT

Food safety represents a critical challenge to public health and global economic stability, given the persistent threat of pathogenic microorganisms that do not alter the sensory characteristics of food. This work aimed to review the microbial ecology and contamination dynamics in the production chain, highlighting the challenges posed by highly virulent pathogens and environmental resistance. The methodology was based on an integrative review of recent literature on food microbiology and mitigation technologies. The results emphasize that contamination is a dynamic process from field to consumption influenced by animal reservoirs, failures in thermal processes, and the persistence of biofilms and thermostable toxins. It was observed that conventional risk management should be complemented by rapid detection methods and non-thermal inactivation technologies. It is concluded that ensuring food safety requires constant vigilance and the integration of biotechnological innovations to actively manage invisible threats in the global food supply.

Keywords: Foodborne pathogens; *Listeria monocytogenes*; Biosensors; Non-thermal technologies.

Introdução aos Compostos Bioativos

A biodiversidade vegetal constitui um vasto reservatório de moléculas com potencial aplicação terapêutica e tecnológica. Embora as plantas sejam historicamente reconhecidas pelo fornecimento de nutrientes essenciais, a ciência de alimentos contemporânea volta-se para os metabólitos secundários e constituintes não nutricionais, denominados compostos bioativos. Diferentemente dos nutrientes clássicos, como macro e micronutrientes, cuja ausência acarreta deficiências agudas e compromete a sobrevivência imediata, os compostos bioativos são definidos como substâncias extranutricionais que, ao serem ingeridas, modulam processos metabólicos e fisiológicos, contribuindo para a redução do risco de doenças crônicas e a promoção da saúde a longo prazo (Kussmann; Cunha; Berciano, 2023).

É imperativo distinguir metodologicamente essas substâncias da matriz nutricional. Enquanto proteínas, carboidratos e lipídios desempenham funções estruturais e energéticas primárias, os bioativos são categorizados majoritariamente por sua estrutura química, como fenólicos, terpenoides, compostos organossulfurados e alcaloides. Contudo, a simples ingestão não garante eficácia biológica; a atividade destes compostos é estritamente dependente da bioacessibilidade, ou seja, a liberação da matriz alimentar, e da biodisponibilidade, que consiste na absorção e alcance da circulação sistêmica (Thakur et al., 2020). A ignorância desses parâmetros frequentemente leva a interpretações errôneas sobre a eficácia real de dietas e suplementos.

A validação científica dos bioativos exige cautela na interpretação das evidências. Estudos *in vitro* frequentemente demonstram potente capacidade antioxidante direta, como a varredura de radicais livres, no entanto, esses resultados não são diretamente extrapoláveis para o organismo humano. *In vivo*, a baixa biodisponibilidade e o extenso metabolismo de primeira passagem e microbiano alteram a estrutura original das moléculas (Kussmann; Cunha; Berciano, 2023). Assim, o mecanismo de ação preponderante em humanos tende a ser a modulação de vias de sinalização celular e a indução de defesas endógenas, e não apenas a ação antioxidante direta observada em bancada.

No contexto industrial, estes compostos apresentam uma dualidade funcional estratégica, tecnológica e fisiológica. Do ponto de vista tecnológico, bioativos como antocianinas e óleos essenciais são aplicados como substitutos naturais de aditivos sintéticos, conferindo cor e atuando na conservação de alimentos





devido às suas propriedades antimicrobianas (Zaky et al., 2024). Simultaneamente, busca-se a preservação de sua atividade biológica para que exerçam efeitos fisiológicos benéficos no consumidor final. Esta convergência impulsiona o desenvolvimento de tecnologias de extração verde e sistemas de encapsulação capazes de proteger essas moléculas termolábeis e fotossensíveis ao longo da cadeia produtiva.

Diante deste cenário, este capítulo objetiva consolidar os conceitos fundamentais sobre bioativos alimentares, superando generalizações para oferecer uma visão integrada. Serão abordados os sistemas de classificação química, as fontes naturais, incluindo a valorização de resíduos agroindustriais, e as tecnologias de extração sustentáveis. A discussão central aprofundará os mecanismos de ação fisiológicos, diferenciando potenciais químicos de efeitos biológicos reais, e analisará os desafios críticos de biodisponibilidade que representam a atual fronteira para a ciência de alimentos funcionais.

2. Metodologia

Para a fundamentação teórica e científica deste capítulo, adotou-se a abordagem de revisão bibliográfica narrativa crítica, estruturada para sintetizar evidências empíricas e teóricas sobre a bioatividade, os mecanismos de ação e a biodisponibilidade de compostos alimentares. O levantamento bibliográfico foi conduzido em bases de dados eletrônicas de alto impacto, especificamente *Web of Science (Core Collection)*, *Scopus (Elsevier)*, *PubMed (National Library of Medicine)* e *ScienceDirect*. A estratégia de busca empregou operadores booleanos para combinar descritores controlados e termos livres, utilizando sintaxes adaptadas para cada base que integraram conceitos como “*Bioactive compounds*”, “*Phytochemicals*”, “*Health benefits*”, “*Bioavailability*”, “*Gut microbiota interaction*” e “*Green extraction*”.

O recorte temporal definido compreendeu o período entre 2020 e 2024, visando capturar as atualizações científicas e inovações tecnológicas dos últimos cinco anos. Os critérios de elegibilidade priorizaram a inclusão de artigos originais experimentais (estudos *in vitro*, *in vivo* e ensaios clínicos), revisões sistemáticas e meta-análises publicados em periódicos indexados com revisão por pares. Foram excluídos da seleção estudos de cunho puramente agrônomo sem correlação direta com a saúde humana, bem como editoriais e resumos de congressos. O protocolo de análise seguiu um fluxo de triagem em duas etapas, consistindo na leitura de títulos e resumos para verificação de pertinência, seguida pela análise completa dos textos. Os dados foram extraídos e categorizados qualitativamente em eixos temáticos (caracterização química, mecanismos fisiológicos, desafios de biodisponibilidade e tecnologias sustentáveis), permitindo a triangulação das informações para mitigar vieses de interpretação e garantir uma visão holística do estado da arte sobre o tema.

3. Desenvolvimento

3.1 Classificação e Fontes Principais

A categorização dos compostos bioativos é etapa fundamental para a compreensão de suas bioatividades, uma vez que a estrutura química determina a solubilidade, a estabilidade e o mecanismo de ação fisiológico. Os fitoquímicos são classificados majoritariamente em polifenóis, terpenoides (incluindo carotenoides), compostos organossulfurados e alcaloides.





Os polifenóis constituem a classe mais numerosa e amplamente distribuída no reino vegetal. Caracterizados pela presença de anéis aromáticos com uma ou mais hidroxilas, subdividem-se em flavonoides, ácidos fenólicos, estilbenos e lignanas. Fontes dietéticas primárias incluem cacau, chá (*Camellia sinensis*), café e frutas vermelhas. Estudos apontam que a matriz alimentar influencia diretamente a bioatividade; por exemplo, as proantocianidinas (taninos condensados) presentes em sementes de uva e a hesperidina em citros demonstram atividades antioxidantes distintas dependendo do grau de polimerização e glicosilação. Os carotenoides, pigmentos lipofílicos responsáveis pelas cores amarela, laranja e vermelha, desempenham funções duplas: atuam como antioxidantes singletos e, no caso dos provitamina A são precursores de retinol. Fontes clássicas incluem tomate (rico em licopeno) e vegetais folhosos (ricos em luteína). Além do valor nutricional, sua aplicação tecnológica como corantes naturais é amplamente explorada pela indústria para substituir aditivos sintéticos.

Os compostos organossulfurados, notadamente os glucosinolatos (em brássicas como brócolis) e os compostos alílicos (em alho e cebola), são reconhecidos por suas propriedades quimiopreventivas e antimicrobianas. Paralelamente, os ácidos graxos poli-insaturados (PUFAs), especificamente da série ômega-3, embora sejam lipídios nutricionais, exercem potentes funções bioativas na modulação da inflamação e na integridade das membranas neuronais.

Uma vertente contemporânea na obtenção desses compostos é a valorização de subprodutos agroindustriais. Zaky et al. (2024) destacam que resíduos como cascas e sementes frequentemente concentram teores de bioativos superiores às partes comestíveis. Cascas de frutas e bagaços de oleaginosas, por exemplo, são matrizes ricas em compostos fenólicos de alto valor agregado, alinhando a produção de ingredientes funcionais aos preceitos da economia circular e sustentabilidade industrial (Zaky et al., 2024).

3.2 Métodos de extração

A recuperação eficiente de bioativos a partir de matrizes vegetais complexas é um ponto crítico no processamento de alimentos funcionais. O método de extração deve maximizar o rendimento e, simultaneamente, preservar a integridade estrutural de moléculas termolábeis e fotoinstáveis (Zaky et al., 2024).

Historicamente, técnicas convencionais baseadas em solventes orgânicos, como maceração e extração Soxhlet, foram predominantes. Embora o método Soxhlet ainda sirva como padrão de referência analítico para cálculo de rendimento global, ele apresenta desvantagens industriais severas: alto consumo de solventes (muitas vezes tóxicos), longo tempo de operação e temperaturas de ebulição que promovem a degradação térmica de compostos sensíveis, como antocianinas e vitaminas (Zaky et al., 2024).

Em resposta a essas limitações, as tecnologias de extração verde emergiram como alternativas superiores em termos de seletividade e sustentabilidade.

- Extração com Fluido Supercrítico (SFE): Utiliza fluidos, predominantemente CO₂ acima de seu ponto crítico de temperatura e pressão. O CO₂ supercrítico é atóxico, inerte e permite a extração seletiva de compostos apolares a baixas temperaturas, preservando a bioatividade. Para compostos polares, o uso de co-solventes (como etanol) é necessário.
- Extração Assistida por Ultrassom (UAE): Baseia-se no fenômeno de cavitação acústica, que rompe as paredes celulares vegetais, facilitando a transferência de massa do soluto para o solvente. É reconhecida pela eficiência energética e redução do tempo de processo (Dahiya et al., 2023).





- Extração Assistida por Micro-ondas (MAE): Utiliza radiação eletromagnética para aquecimento dielétrico rápido e volumétrico da matriz. Embora eficiente, exige controle rigoroso para evitar superaquecimento localizado (hotspots) que pode degradar os fitoquímicos.
- Solventes Eutéticos Profundos Naturais (NADES): Representam a nova fronteira da química verde, utilizando misturas de metabólitos primários (como açúcares e aminoácidos) que formam líquidos com alta capacidade de solvatação e baixa toxicidade, ideais para extrações destinadas ao consumo humano (Zaky et al., 2024).

A implementação industrial dessas tecnologias exige a otimização de parâmetros críticos (razão sólido-líquido, temperatura, pressão e potência), visando o equilíbrio entre viabilidade econômica e qualidade do extrato final.

3.3. Mecanismos de Ação

Os efeitos benéficos dos compostos bioativos não derivam de uma via única, mas de uma atuação pleiotrópica que envolve a modulação de cascatas de sinalização celular, regulação da expressão gênica e interação com a microbiota residente.

A atividade antioxidante é o mecanismo mais documentado, ocorrendo via doação de elétrons ou hidrogênio para neutralizar as Espécies Reativas de Oxigênio (EROs) e Nitrogênio (ERNs). Estruturalmente, a presença de hidroxilas fenólicas e sistemas de duplas ligações conjugadas é determinante para a estabilização dos radicais livres. Além da varredura direta (scavenging), bioativos como os polifenóis induzem a defesa antioxidante endógena, ativando fatores de transcrição como o Nrf2, que regula a síntese de enzimas citoprotetoras (ex: superóxido dismutase e catalase).

Na modulação anti-inflamatória, fitoquímicos têm demonstrado capacidade de inibir a via do fator nuclear kappa B (NF- κ B) um regulador chave da inflamação. Villagrán-Andrade et al. (2024) descrevem que a supressão dessa via reduz a expressão de citocinas pró-inflamatórias IL-1 β , IL-6, IL-8 e TNF- α e mediadores como prostaglandinas, conferindo potencial terapêutico em condições crônicas como osteoartrite e doenças cardiovasculares.

Além disso, a Nutrigenômica e a epigenética revelam que componentes da dieta podem alterar a metilação do DNA e a modificação de histonas. Villagrán-Andrade et al. (2024) destacam que certos bioativos atuam como inibidores naturais de DNA metiltransferases (DNMT), sugerindo um papel na prevenção de alterações genômicas associadas ao câncer.

A interação bidirecional com a microbiota intestinal é outro pilar mecanístico. A maioria dos polifenóis atinge o cólon intacta, onde é metabolizada por bactérias comensais em catabólitos de menor peso molecular (ex: ácidos fenólicos simples e urolitinas), que frequentemente possuem maior bioatividade que os compostos parentais. Simultaneamente, esses compostos atuam como prebióticos, favorecendo o crescimento de gêneros benéficos (*Lactobacillus*, *Bifidobacterium*) e melhorando a integridade da barreira intestinal (Villagrán-Andrade et al., 2024).





3.4. Bioacessibilidade e Biodisponibilidade

A eficácia clínica de um alimento funcional é limitada pela biodisponibilidade de seus componentes ativos. É crucial distinguir bioacessibilidade (a fração do composto liberada da matriz alimentar no trato gastrointestinal disponível para absorção) de biodisponibilidade (a fração que efetivamente atinge a circulação sistêmica e o local de ação) (Thakur et al., 2020).

Diversos fatores intrínsecos e extrínsecos restringem esses parâmetros:

1. **Matriz Alimentar:** Interações supramoleculares com proteínas, fibras e minerais podem sequestrar bioativos. Nicolescu et al. (2023) observam que, embora as fibras sejam benéficas, elas podem reduzir a bioacessibilidade de polifenóis por barreira física ou adsorção. Por outro lado, a presença de lipídios é obrigatória para a formação de micelas mistas, veículo de transporte essencial para carotenoides e vitaminas lipossolúveis (Thakur et al., 2020; Nicolescu et al., 2023).
2. **Processamento:** O tratamento térmico exerce efeito dual. Pode degradar compostos termolábeis, mas também aumenta a bioacessibilidade ao romper paredes celulares (amacramento tecidual), facilitando a liberação de compostos intracelulares (Thakur et al., 2020).
3. **Metabolismo e Instabilidade:** Variações de pH no trato gastrointestinal e a ação de enzimas hepáticas (metabolismo de primeira passagem) alteram drasticamente a estrutura química dos bioativos. Rezagholizade-Shirvan et al. (2024) ressalta que a baixa solubilidade aquosa e a instabilidade química são as principais barreiras para a aplicação terapêutica.

Para superar tais limitações, a micro e nanoencapsulação consolidou-se como estratégia tecnológica vital. O uso de carreadores (lipossomas, nanopartículas lipídicas sólidas, emulsões) protege o bioativo contra degradação ambiental (luz, oxigênio) e gastrointestinal, permitindo a liberação controlada e o aumento da solubilidade e absorção (Dahiya et al., 2023; Rezagholizade-Shirvan et al., 2024). A escolha correta do material de parede e da técnica de encapsulamento é determinante para garantir que o composto atinja seu alvo biológico em concentração eficaz.

Conclusão e Perspectivas Futuras

A consolidação dos compostos bioativos como agentes terapêuticos exige a superação do hiato entre o potencial químico observado *in vitro* e a eficácia clínica real. Fica evidente que a bioatividade é dependente da matriz alimentar e da biotransformação sistêmica, tornando insuficientes os dados que ignoram a biodisponibilidade e a interação com a microbiota. No âmbito tecnológico, a extração verde e a valorização de resíduos agroindustriais firmam-se como padrões de sustentabilidade e pureza, embora sua aplicação industrial dependa de sistemas de estabilização, como a nanoencapsulação. O avanço da área não reside mais na descoberta de novas moléculas, mas no rigor metodológico: é mandatória a transição para ensaios clínicos randomizados (RCTs) e o uso de ferramentas ômicas para validar biomarcadores de efeito. Somente a integração entre processamento inovador e ciência translacional garantirá que as alegações funcionais se traduzam em benefícios concretos à saúde pública.





REFERÊNCIAS

DAHIYA, Divakar et al. Current status and future prospects of bioactive molecules delivered through sustainable encapsulation techniques for food fortification. *Sustainable Food Technology*, [S.l.], v. 1, n. 4, p. 500-510, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.1039/d3fb00015j>. Acesso em: 13 nov. 2025.

KUSSMANN, Martin; CUNHA, David Henrique Abe; BERCIANO, Silvia. Bioactive compounds for human and planetary health. *Frontiers In Nutrition*, [S.l.], v. 10, p. 1-2, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fnut.2023.1193848>. Acesso em: 24 nov. 2025

NICOLESCU, Alexandru et al. Bioaccessibility and bioactive potential of different phytochemical classes from nutraceuticals and functional foods. *Frontiers In Nutrition*, [S.l.], v. 10, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fnut.2023.1184535>. Acesso em: 24 nov. 2025

REZAGHOLIZADE-SHIRVAN, Alieh et al. Bioactive compound encapsulation: characteristics, applications in food systems, and implications for human health. *Food Chemistry: X*, [S.l.], v. 24, p. 101953, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101953>. Acesso em: 13 nov. 2025

THAKUR, Nitasha et al. Recent updates on bioaccessibility of phytonutrients. *Trends In Food Science & Technology*, [S.l.], v. 97, p. 366-380, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.019>. Acesso em: 17 nov. 2025

VILLAGRÁN-ANDRADE, Karla Mariuxi et al. Nutritional Epigenomics: bioactive dietary compounds in the epigenetic regulation of osteoarthritis. *Pharmaceuticals*, [S.l.], v. 17, n. 9, p. 1148, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/ph17091148>. Acesso em: 02 dez. 2025

ZAKY, Ahmed A. et al. Bioactive compounds from plants and by-products: novel extraction methods, applications, and limitations. *AIMS Molecular Science*, [S.l.], v. 11, n. 2, p. 150-188, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.3934/molsci.2024010>. Acesso em: 02 dez. 2025



Além das calorias: Uma revisão integrativa sobre os efeitos dos adoçantes artificiais não calóricos na saúde metabólica e intestinal

Luana Cruz Muxfeldt

Doutoranda em Ciências de Alimentos
Universidade Estadual de Maringá – UEM
E-mail: luanacmuxfeldt@gmail.com

Simone Maria Altoé Porto

Doutoranda em Ciências de Alimentos
Universidade Estadual de Maringá (UEM)
E-mail: simaltoe@gmail.com

Marciele Alves Bolognese

Doutoranda em Ciências de Alimentos
Universidade Estadual de Maringá - UEM
E-mail: clinicabolognese@gmail.com

RESUMO

A crescente preocupação com as calorias nos últimos anos impulsionou a busca por produtos alimentícios rotulados como “zero açúcar”, em que o açúcar adicionado é trocado por adoçantes artificiais não calóricos. No entanto, este modelo de balanço energético que visa apenas calorias não leva em consideração respostas metabólicas complexas, como alterações hormonais, sensibilidade à insulina, funcionamento intestinal e condições ambientais, como qualidade do sono, exercícios e níveis de estresse. Diante disso, o objetivo deste estudo foi realizar uma revisão integrativa de literatura para investigar como os aditivos alimentares, em especial os adoçantes artificiais não calóricos, podem afetar a saúde intestinal e metabólica. A busca foi realizada nas bases de dados *Pubmed*, *Scopus* e *ScienceDirect* utilizando os descritores “*Ultraprocessed Foods*”, “*Food Additives*”, “*Diet Western*”, “*Gut Microbiota*”, “*Metabolic Health*”, “*Inflammation*”, “*Energy Intake*”. Foram incluídos artigos publicados entre 2018 e 2025, em inglês e português. Os resultados indicam que aditivos alimentares podem comprometer a barreira intestinal, elevar a produção de citocinas inflamatórias e alterar tanto o metabolismo quanto o comportamento alimentar. Esses achados reforçam a necessidade de políticas públicas e ações de educação nutricional que valorizem a qualidade dos alimentos, indo além da contagem de calorias.

Palavras-chave: Metabolismo energético; aditivos alimentares; edulcorantes; permeabilidade intestinal; inflamação.





ABSTRACT

The growing concern with calorie intake in recent years has driven the demand for food products labelled as 'sugar-free,' in which added sugar is replaced by non-caloric artificial sweeteners. However, this energy-balance model, which focuses solely on calories, fails to account for complex metabolic responses, including hormonal alterations, insulin sensitivity, gut function, and environmental factors such as sleep quality, physical activity, and stress levels. Therefore, this study aimed to conduct an integrative literature review to investigate how food additives, particularly non-caloric artificial sweeteners, may affect gut and metabolic health. The search was conducted in the PubMed, Scopus, and ScienceDirect databases using the descriptors 'Ultraprocessed Foods,' 'Food Additives,' 'Western Diet,' 'Gut Microbiota,' 'Metabolic Health,' 'Inflammation,' and 'Energy Intake.' Articles published between 2018 and 2025 in English and Portuguese were included. The results indicate that food additives can compromise the intestinal barrier, increase the production of inflammatory cytokines, and alter both metabolism and eating behaviour. These findings underscore the importance of public policies and nutritional education strategies that prioritise food quality over calorie counting.

Keywords: Energy metabolism; Food additives; Sweeteners; Leaky gut; Inflammation.

Introdução

Nas últimas décadas, a indústria de alimentos passou por transformações, moldadas por avanços tecnológicos e pela crescente demanda dos consumidores por produtos práticos e mais saudáveis. Nesse contexto, os produtos ultraprocessados tiveram destaque no padrão alimentar global (Louzada et al., 2023). Esses produtos são formulações industriais prontas ou de fácil consumo e formuladas por ingredientes e aditivos alimentares derivados de matérias-primas de alto rendimento, como açúcares, xaropes, amidos refinados, gorduras, isolados proteicos e outros subprodutos. Além de conterem pouco ou nenhum alimento in natura, são frequentemente ricos em açúcares e gorduras, pobres em fibras e micronutrientes, e elaborados para serem altamente palatáveis por meio de combinações de corantes e edulcorantes (Brasil, 2014; Fagundes Grilo et al., 2022).

O problema começou quando a preocupação da população sobre composição corporal estimulou um movimento de mercado em busca de produtos considerados “melhores opções”, como versões “zero açúcar”, “low-carb”, “proteicas” e similares, com a preocupação voltada para o número de calorias e emagrecimento (Theodorakis et al., 2024). A indústria, por sua vez, respondeu com inovações voltadas à reformulação de produtos, frequentemente substituindo o açúcar por adoçantes não calóricos, também chamados de edulcorantes artificiais (Fagundes Grilo et al., 2022).

Dados nacionais revelam que mesmo regiões que historicamente consumiam menos ultraprocessados apresentaram o maior aumento ao longo do tempo, indicando, conseqüentemente, um aumento dos riscos à saúde pública (Louzada et al., 2023; Monteiro et al., 2025). Ainda no ano de 2014 o Ministério da Saúde publicou a segunda edição do Guia Alimentar para a População Brasileira, que se tornou um marco na área da nutrição ao propor uma classificação baseada no grau de processamento dos alimentos: in natura e minimamente processados (que deveriam ser a base da alimentação), processados (consumidos com moderação) e ultraprocessados (que deveriam ser evitados por terem aditivos alimentares adicionados). O Novo Guia até hoje reforça a importância de uma alimentação baseada em alimentos frescos, preparações culinárias e práticas alimentares culturais e menos produtos ultraprocessados (Brasil, 2014).





Essa classificação aumentou a compreensão da relação entre alimentação e doenças crônicas, explicando o impacto dos aditivos alimentares sobre obesidade, inflamação e demais disfunções metabólicas (Monteiro et al., 2025; Popkin et al., 2021). Os adoçantes artificiais, apesar de amplamente utilizados e muitas vezes percebidos como alternativas mais saudáveis do que o açúcar, podem desencadear efeitos adversos relevantes (Theodorakis et al., 2024).

É possível observar também que o “reduccionismo nutricional”, amplamente explorado pelo marketing da indústria alimentícia, no qual alimentos passam a ser identificados por nutrientes isolados, como “carboidrato” e “proteína”, favorece a disseminação de produtos ultraprocessados como saudáveis. Essa abordagem tende a influenciar em escolhas alimentares pautadas nas alegações nutricionais, deixando de lado a qualidade do alimento e favorecendo a presença de ultraprocessados na dieta mesmo entre consumidores que buscam opções mais equilibradas, apenas por conter (ou não conter) nutrientes isolados (Monteiro et al., 2025)

Diante desse contexto, o objetivo deste estudo foi realizar uma revisão integrativa de literatura para investigar como os aditivos alimentares, em especial os adoçantes artificiais não calóricos podem afetar a saúde intestinal e metabólica. Esta discussão é essencial para embasar políticas públicas, orientar profissionais de saúde e fornecer subsídios para escolhas alimentares verdadeiramente mais saudáveis.

2. Calorias

Os alimentos possuem energia química, a qual é disponibilizada ao organismo durante os processos digestivos e metabólicos responsáveis pela degradação dos macronutrientes. Essa energia é chamada de caloria e é essencial para a manutenção das funções celulares e do funcionamento do organismo, sendo que pode ser utilizada imediatamente ou armazenada. Quando nossa ingestão energética é maior que o necessário para o funcionamento do organismo, o excedente é direcionado ao armazenamento e estocado sob a forma de triacilgliceróis no tecido adiposo, enquanto outra parte é armazenada como glicogênio, principalmente no fígado e no músculo esquelético (Bhupathiraju; Hu; Braunstein, 2023).

O modelo clássico de balanço energético, também conhecido como “calorias ingeridas versus calorias gastas”, pressupõe que a ingestão e o gasto calórico possam ser medidos com precisão e se relacionem linearmente à perda de peso. Contudo, esse modelo apresenta limitações significativas. Primeiramente, a contagem de calorias de alimentos apresenta variações regulamentares de até 20%, mas, na prática, discrepâncias de até 60% são observadas. Em segundo lugar, nem todas as calorias impactam o organismo de forma igual. Os alimentos de baixo índice glicêmico, por exemplo, como os grãos integrais, promovem digestão mais lenta, maior saciedade devido ao seu teor de fibras e facilitam a formação do bolo fecal, favorecendo menor absorção calórica total. Em contraste, alimentos de alto índice glicêmico e baixo teor de fibras, como o açúcar refinado, induzem picos rápidos de glicose e insulina, estimulando lipogênese e aumento precoce da fome. Por fim, o modelo de balanço energético simples não considera adequadamente as respostas adaptativas do organismo, descritas pela teoria do “ponto de ajuste” do peso, em que o peso corporal é regulado por mecanismos de feedback que ajustam a ingestão e o gasto energético, modulados por fatores como taxa metabólica basal, composição corporal, adaptações metabólicas, perfis hormonais, sensibilidade à insulina e condições ambientais, incluindo nutrição, sono, exercício e estresse, resultando em respostas individuais complexas que não são capturadas por modelos lineares (Benton; Young, 2017; Greenway, 2015; Jumpertz et al., 2013; Ludwig et al., 2021; Müller; Bosy-Westphal; Heymsfield, 2010).





2.1 Aditivos Alimentares – Adoçantes Artificiais Não Calóricos

Nos últimos anos, junto da preocupação com a redução calórica dos alimentos e da utilização de medicamentos análogos do GLP-1, aumentou ainda mais a incorporação de aditivos alimentares nos produtos ultraprocessados. Esses compostos, utilizados para conferir estabilidade, cor, sabor ou textura aos alimentos, estão sendo também inseridos nos produtos em substituição ao açúcar. Porém, evidências recentes apontam que os adoçantes artificiais não calóricos também ocasionam efeitos prejudiciais, assim como corantes e conservantes adicionados, com consequências no intestino, imunidade e até mesmo saúde mental (Seto; Grondin; Khan, 2025; Whelan et al., 2024).

Dentre o grupo de adoçantes não calóricos, são comumente usados para conferir sabor doce, mas sem agregar calorias aos produtos: sacarina, aspartame, acesulfame de potássio e sucralose. Estudos mostram que estes produtos também impactam a saúde metabólica ativando vias que prejudicam a integridade das junções entre células intestinais, enfraquecendo a barreira do intestino, agravando quadros de inflamações e modulando o sistema imunológico e intestinal (Seto; Grondin; Khan, 2025; Sievenpiper et al., 2025).

A ação dos adoçantes acontece da seguinte forma: primeiro, o enfraquecimento da barreira intestinal, depois, o comprometimento da mucosa e por fim, a ativação do sistema imune. Alguns edulcorantes podem alterar a composição microbiana, reduzindo bactérias benéficas (como *Akkermansia muciniphila*) e ao mesmo tempo, danificar a camada de muco que reveste o epitélio intestinal, facilitando contato direto entre bactérias e células da mucosa (Seto; Grondin; Khan, 2025).

Em síntese, os adoçantes artificiais, tradicionalmente avaliados do ponto de vista da toxicidade aguda, estão revelando um perfil de risco mais perigoso, especialmente por não estarem sendo consumidos isoladamente, e sim, em uma soma de muitos aditivos ao longo dos dias de grande parte da população (Popkin et al., 2021; Theodorakis et al., 2024).

Apesar dos estudos apontarem para os riscos dos edulcorantes, os processos que avaliam a segurança dos alimentos ainda não consideram o impacto da soma de vários adoçantes artificiais sobre a saúde humana, o que sugere que as diretrizes de avaliação toxicológica devem ser revisadas, visto o aumento de doenças crônicas e inflamatórias nos dias atuais. Além disso, existe uma escassez de estudos em humanos que avaliem diretamente o impacto do consumo prolongado e excessivo destes compostos (Fagundes Grilo et al., 2022; Theodorakis et al., 2024).

No âmbito das políticas públicas, essa nova perspectiva sobre os adoçantes artificiais em substituição ao açúcar reforça a importância de estratégias que limitem este consumo. Além disso, existe um apelo crescente por uma rotulagem mais transparente, na qual não somente a quantidade de açúcar, gordura e sódio seja declarada, mas também a presença de aditivos com alertas de saúde (Theodorakis et al., 2024).

3. Metodologia

Foi realizada uma revisão integrativa da literatura com o objetivo de sintetizar as evidências científicas atuais sobre os efeitos dos adoçantes artificiais não calóricos na saúde metabólica e intestinal. A busca dos estudos foi feita nas bases de dados *PubMed*, *Scopus* e *ScienceDirect*, utilizando os descritores “*Ultraprocessed Foods*”, “*Food Additives*”, “*Western Diet*”, “*Gut Microbiota*”, “*Metabolic Health*”, “*Inflammation*” e “*Energy Intake*”.





Foram incluídos estudos originais realizados em humanos e em modelos animais, publicados entre 2018 e 2025, nos idiomas inglês, português e espanhol, que investigassem de forma direta a relação entre adoçantes artificiais não calóricos e desfechos relacionados à saúde metabólica, inflamação, microbiota intestinal e ingestão energética. Foram excluídos capítulos de livros, teses, dissertações, editoriais, cartas ao editor, artigos de opinião e estudos duplicados entre as bases de dados.

A seleção dos estudos ocorreu em duas etapas, inicialmente por meio da leitura dos títulos e resumos e, posteriormente, pela leitura integral dos artigos potencialmente elegíveis, descartando os que não respondiam ao objetivo da presente revisão. A avaliação da qualidade metodológica dos estudos incluídos foi realizada de forma cautelosa, considerando o delineamento do estudo, o tamanho amostral, os métodos de análise e a coerência entre os resultados apresentados e as conclusões.

4. Discussão

O destino metabólico dos adoçantes artificiais varia consideravelmente conforme sua estrutura química. Enquanto alguns são completamente absorvidos e excretados inalterados, outros são metabolizados no trato gastrointestinal ou interagem com a microbiota intestinal. A tabela abaixo resume as propriedades de digestão e absorção dos principais adoçantes (Pang; Goossens; Blaak, 2021).

Tabela 1 - Características metabólicas e funcionais de adoçantes não calóricos

Adoçante	Poder Adoçante (vs. Sacarose)	Metabolismo e Absorção	Excreção	Interação com a Microbiota
Acesulfame-K	~200x	Não é metabolizado. É rapidamente e completamente absorvido.	>99% excretado inalterado na urina em 24 h.	Improvável, pois a absorção rápida limita sua chegada ao cólon.
Aspartame	~200x	É digerido no intestino delgado em seus componentes: ácido aspártico, fenilalanina e metanol. Estes são absorvidos e seguem suas vias metabólicas normais.	Os metabólitos são utilizados pelo corpo. Não há acúmulo.	Nenhuma, pois não alcança o cólon.
Sacarina	~300x	Não é metabolizada. 85-95% é absorvida e ligada a proteínas plasmáticas.	A porção absorvida é excretada na urina. 5-15% não absorvido é excretado nas fezes.	A fração não absorvida pode interagir e modular a microbiota intestinal.
Sucralose	~600x	Não é digerida. Apenas uma pequena fração (11-27%) é absorvida.	A maior parte é eliminada nas fezes. A fração absorvida é excretada na urina.	Resistente à fermentação, mas pode ter efeitos bacteriostáticos na microbiota.

Fonte: Elaborada pelo autor com base em (Gopalakrishnan et al., 2024).





Uma revisão sistemática e meta-análise com 34 ensaios clínicos randomizados apontou que os adoçantes artificiais não calóricos não provocam alterações agudas na resposta glicêmica ou insulinêmica média pós-prandial quando comparados ao controle (Greyling et al., 2020). Porém, alguns estudos mostram que o consumo crônico, especialmente de sacarina e sucralose, pode levar à intolerância à glicose em alguns indivíduos, um efeito que pode surgir devido alterações causadas na microbiota intestinal (Iizuka, 2022; Pepino, 2015).

Evidências crescentes mostram que a percepção do sabor doce, seja por açúcares ou por adoçantes não calóricos, tem efeitos metabólicos que vão além da cavidade oral. Já foi demonstrado que os receptores de sabor doce T1R2/T1R3 são expressos não apenas na língua, mas também no trato gastrointestinal e até no pâncreas, onde sua ativação pode influenciar a secreção de insulina, afetando a regulação glicêmica (Serrano et al., 2022). Da mesma forma, pesquisas revelam que o intestino responde à ativação desses mesmos receptores de sabor doce, em que T1R2/T1R3 desencadeiam uma cascata de sinalização intracelular que leva à translocação do transportador de glicose GLUT2 para a membrana apical dos enterócitos (Posta et al., 2023).

Reforçando os efeitos dos edulcorantes, Wang et al. (2025) investigaram a sucralose no modelo de *Drosophila melanogaster*. A exposição aguda ao adoçante desencadeou uma resposta hiperfágica, aumentando a ingestão alimentar em até 200% em comparação ao grupo controle. O estudo mostrou que esse efeito é mediado por circuitos neurais envolvendo receptores de sabor doce, neurônios octopaminérgicos e o sistema de neuropeptídeo F, ligados à recompensa. Esses achados sugerem que a sucralose não apenas induz doçura, mas também ativa vias neurocomportamentais capazes de modular o comportamento alimentar.

Em outro estudo transversal com 524 estudantes universitários, participantes responderam a questionários e tiveram o percentual de gordura corporal avaliado. O consumo de sacarina foi significativamente maior entre aqueles classificados com excesso de gordura ou obesidade, mesmo sem ultrapassar a Ingestão Diária Aceitável (IDA) (Tapanee et al., 2023). De forma complementar, outro estudo acompanhou mais de 3 mil adultos jovens eutróficos e observou que o consumo de adoçantes não calóricos estava relacionado com maiores volumes de tecido adiposo visceral, intermuscular e subcutâneo, medidos por tomografia computadorizada (Steffen et al., 2023).

A revisão de Posta et al. (2023) reforça que essa sinalização afeta não apenas o metabolismo da glicose, mas também a permeabilidade intestinal, a inflamação e a comunicação com o cérebro e os rins, destacando o papel central desses receptores na homeostase corporal, além do aumento da absorção de glicose dietética.

O uso de edulcorantes artificiais também pode induzir disbiose intestinal, um desequilíbrio na microbiota que compromete a homeostase entre microrganismos comensais e potencialmente patogênicos. A redução de bactérias produtoras de ácidos graxos de cadeia curta (AGCCs), como *Bifidobacterium spp.* e *Lactobacillus acidophilus* prejudica a saúde do cólon e a integridade da barreira intestinal, enquanto o aumento de *Proteobacteria* favorece a produção de metabólitos pró-inflamatórios, como o lipopolissacarídeo (LPS), associado a distúrbios metabólicos, obesidade e doenças crônicas (Conz; Salmona; Diomedea, 2023).

Modelos animais mostram que a exposição a sacarina, acesulfame-K e sucralose reduziu a população também de *Akkermansia muciniphila*, associada a maior intolerância à glicose. Essa bactéria secreta a proteína P9, que estimula a liberação de GLP-1 e melhora a homeostase glicêmica em modelos de obesidade e diabetes, sugerindo o mecanismo pelo qual os adoçantes impactam a tolerância à glicose (Yoon et al., 2021).





Um estudo recente de Wu et al. (2024) também associou o consumo de acesulfame de potássio a um aumento significativo da puberdade precoce em meninas de 6 a 12 anos. Esses resultados ressaltam a necessidade de cautela no uso desse edulcorante por populações vulneráveis e reforçam a importância de monitorar continuamente seus efeitos sobre a saúde.

A implementação da rotulagem nutricional frontal obrigatória, iniciada em outubro de 2022, reforça a ideia de que alimentos com açúcar são prejudiciais, enquanto produtos com adoçantes são percebidos como mais seguros (Brasil, 2020). Embora a rotulagem nutricional frontal busque proteger o consumidor dos riscos do açúcar, ela pode, ao mesmo tempo, incentivar o consumo de edulcorantes, cujos efeitos a longo prazo sobre a saúde metabólica e intestinal permanecem cada vez mais questionados (Melo, 2023). Esta revisão apresenta limitações em relação à predominância de estudos em modelos animais e por este motivo, os resultados indicam a importância de mais estudos controlados em humanos para melhor entender os efeitos dos adoçantes artificiais não calóricos na saúde metabólica e intestinal.

Considerações finais / Conclusão

As evidências analisadas demonstram que o aumento dos produtos ultraprocessados, aliado à crescente substituição de açúcar por adoçantes artificiais, pode ter impactos expressivos sobre a saúde intestinal e metabólica. Embora frequentemente confundidos como alternativas mais saudáveis, exercem efeitos como a sinalização do sabor doce no intestino, maior absorção de glicose dietética, modulação do comportamento alimentar e a indução de disbiose e inflamação. Esses mecanismos contribuem para questionar se a substituição do açúcar por esses compostos realmente é eficaz para o controle das doenças crônicas não transmissíveis.

Diante dessas constatações, este estudo reforça a importância de estratégias de saúde pública para reduzir a exposição a adoçantes artificiais e outros aditivos alimentares. Isso pode incluir a implementação de alertas claros em produtos com edulcorantes, especialmente para crianças, e maior transparência sobre aditivos que impactam a saúde intestinal. Medidas regulatórias, como a taxação de bebidas adoçadas e incentivos ao consumo de alimentos in natura, devem ser acompanhadas de campanhas educativas que abordem o grau de processamento dos alimentos, os riscos associados aos aditivos e o combate ao reductionismo nutricional.





REFERÊNCIAS

BENTON, David; YOUNG, Hayley A. Reducing Calorie Intake May Not Help You Lose Body Weight. *Perspectives on Psychological Science*, [s. l.], vol. 12, no. 5, p. 703–714, 28 Sep. 2017. DOI 10.1177/1745691617690878. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1745691617690878>. Acesso em: 1 de Dezembro de 2025.

BHUPATHIRAJU, Shilpa N; HU, Frank; BRAUNSTEIN, Glenn D. Calorias. 2023. Merck & Co. Disponível em: <https://www.msdmanuals.com/pt/casa/distúrbios-nutricionais/considerações-gerais-sobre-a-nutrição/calorias>. Acesso em: 3 de Dezembro de 2025.

BRASIL. GUIA ALIMENTAR PARA A POPULAÇÃO BRASILEIRA. 2014. Ministério da Saúde. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/guia_alimentar_populacao_brasileira_2ed.pdf. Acesso em: 2 de Dezembro de 2025.

BRASIL. Instrução Normativa– IN nº 75, de 8 de outubro de 2020. Estabelece os Requisitos Técnicos Para Declaração da Rotulagem Nutricional nos Alimentos Embalados. 2020. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa). Disponível em: https://anvisa.gov.br/legis/datalegis.net/action/UrlPublicasAction.php?acao=abrirAtoPublico&num_ato=00000075&sgl_tipo=INM&sgl_orgao=DC/ANVISA/MS&vlr_ano=2020&seq_ato=000&cod_modulo=134&cod_menu=1696. Acesso em: 15 de Novembro de 2025.

CONZ, Andrea; SALMONA, Mario; DIOMEDE, Luisa. Effect of Non-Nutritive Sweeteners on the Gut Microbiota. *Nutrients*, [s. l.], vol. 15, no. 8, p. 1869, 13 Apr. 2023. DOI 10.3390/nu15081869. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-6643/15/8/1869>. Acesso em: 16 de Novembro de 2025.

FAGUNDES GRILO, Mariana; SMITH TAILLIE, Lindsey; ZANCHETA RICARDO, Camila; AMARAL MAIS, Laís; BORTOLETTO MARTINS, Ana Paula; DURAN, Ana Clara. Prevalence of Low-Calorie Sweeteners and Related Front-of-Package Claims in the Brazilian Packaged Food Supply. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, [s. l.], vol. 122, no. 7, p. 1296–1304, Jul. 2022. DOI 10.1016/j.jand.2021.12.009. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212267221015719>. Acesso em: 18 de Novembro de 2025.

FIGUEIREDO, Luiza dos Santos; SCAPIN, Tailane; FERNANDES, Ana Carolina; PROENÇA, Rossana Pacheco da Costa. Where are the low-calorie sweeteners? An analysis of the presence and types of low-calorie sweeteners in packaged foods sold in Brazil from food labelling. *Public Health Nutrition*, [s. l.], vol. 21, no. 03, p. 447–453, 26 Feb. 2018. DOI 10.1017/S136898001700283X. Disponível em: https://www.cambridge.org/core/product/identifer/S136898001700283X/type/journal_article. Acesso em: 19 de Novembro de 2025.

GOPALAKRISHNAN, Niranjana Karukayil; BALASUBRAMANIAN, Balamuralikrishnan; KUNDAPUR, Rohan; CHAUDHARY, Aditi; MEYYAZHAGNAN, Arun; PAPPUSWAMY, Manikantan. Unraveling connections with artificial sweeteners and their impact on human health: A comprehensive review. *eFood*, [s. l.], vol. 5, no. 5, 4 Oct. 2024. DOI 10.1002/efd2.184. Disponível em: <https://iadns.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/efd2.184>. Acesso em: 15 de Novembro de 2025.





GREENWAY, F L. Physiological adaptations to weight loss and factors favouring weight regain. *International Journal of Obesity*, [s. l.], vol. 39, no. 8, p. 1188–1196, 21 Aug. 2015. DOI 10.1038/ijo.2015.59. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/ijo201559>. Acesso em: 24 de Novembro de 2025.

GREYLING, Arno; APPLETON, Katherine M; RABEN, Anne; MELA, David J. Acute glycemic and insulinemic effects of low-energy sweeteners: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *The American Journal of Clinical Nutrition*, [s. l.], vol. 112, no. 4, p. 1002–1014, Oct. 2020. DOI 10.1093/ajcn/nqaa167. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0002916522008656>. Acesso em: 24 de Novembro de 2025.

IIZUKA, Katsumi. Is the Use of Artificial Sweeteners Beneficial for Patients with Diabetes Mellitus? The Advantages and Disadvantages of Artificial Sweeteners. *Nutrients*, [s. l.], vol. 14, no. 21, p. 4446, 22 Oct. 2022. DOI 10.3390/nu14214446. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-6643/14/21/4446>. Acesso em: 28 de Novembro de 2025.

JUMPERTZ, Reiner; VENTI, Colleen A.; LE, Duc Son; MICHAELS, Jennifer; PARRINGTON, Shannon; KRAKOFF, Jonathan; VOTRUBA, Susanne. Food label accuracy of common snack foods. *Obesity*, [s. l.], vol. 21, no. 1, p. 164–169, 12 Jan. 2013. DOI 10.1002/oby.20185. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/oby.20185>. Acesso em: 29 de Novembro de 2025.

LOUZADA, Maria Laura da Costa; CRUZ, Gabriela Lopes da; SILVA, Karina Augusta Aparecida Nogueira; GRASSI, Ana Giulia Forjaz; ANDRADE, Giovanna Calixto; RAUBER, Fernanda; LEVY, Renata Bertazzi; MONTEIRO, Carlos Augusto. Consumo de alimentos ultraprocessados no Brasil: distribuição e evolução temporal 2008–2018. *Revista de Saúde Pública*, [s. l.], vol. 57, no. 1, p. 12, 15 Mar. 2023. DOI 10.11606/s1518-8787.2023057004744. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rsp/article/view/209656>. Acesso em: 28 de Novembro de 2025.

LUDWIG, David S; ARONNE, Louis J; ASTRUP, Arne; DE CABO, Rafael; CANTLEY, Lewis C; FRIEDMAN, Mark I; HEYMSFIELD, Steven B; JOHNSON, James D; KING, Janet C; KRAUSS, Ronald M; LIEBERMAN, Daniel E; TAUBES, Gary; VOLEK, Jeff S; WESTMAN, Eric C; WILLETT, Walter C; YANCY, JR, William S; EBBELING, Cara B. The carbohydrate-insulin model: a physiological perspective on the obesity pandemic. *The American Journal of Clinical Nutrition*, [s. l.], vol. 114, no. 6, p. 1873–1885, Dec. 2021. DOI 10.1093/ajcn/nqab270. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0002916522005172>. Acesso em: 5 de Novembro de 2025.

MELO, Mylena. Sem alertas nos rótulos, consumidor brasileiro pode ser superexposto aos adoçantes. 2023. O Joio e o Trigo. Disponível em: <https://ojoioeotrigo.com.br/2023/08/rotulagem-adocantes/>. Acesso em: 20 de Novembro de 2025.

MONTEIRO, Carlos A; LOUZADA, Maria L C; STEELE-MARTINEZ, Euridice; CANNON, Geoffrey; ANDRADE, Giovanna C; BAKER, Phillip; BES-RASTROLLO, Maira; BONACCIO, Marialaura; GEARHARDT, Ashley N; KHANDPUR, Neha; KOLBY, Marit; LEVY, Renata B; MACHADO, Priscila P; MOUBARAC, Jean-Claude; REZENDE, Leandro F M; RIVERA, Juan A; SCRINIS, Gyorgy; SROUR, Bernard; SWINBURN, Boyd; TOUVIER, Mathilde. Ultra-processed foods and human health: the main thesis and the evidence. *The Lancet*, [s. l.], 26 Nov. 2025. DOI 10.1016/S0140-6736(25)01565-X. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(25\)01565-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(25)01565-X). Acesso em: 29 de Novembro de 2025.





MÜLLER, Manfred J; BOSY-WESTPHAL, Anja; HEYMSFIELD, Steven B. Is there evidence for a set point that regulates human body weight? *F1000 Medicine Reports*, [s. l.], vol. 2, 9 Aug. 2010. DOI 10.3410/M2-59. Disponível em: <https://facultyopinions.com/prime/reports/m/2/59/>. Acesso em: 28 de Novembro de 2025.

PANG, Michelle D.; GOOSSENS, Gijs H.; BLAAK, Ellen E. The Impact of Artificial Sweeteners on Body Weight Control and Glucose Homeostasis. *Frontiers in Nutrition*, [s. l.], vol. 7, 7 Jan. 2021. DOI 10.3389/fnut.2020.598340. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnut.2020.598340/full>. Acesso em: 26 de Novembro de 2025.

PEPINO, M. Yanina. Metabolic effects of non-nutritive sweeteners. *Physiology & Behavior*, [s. l.], vol. 152, p. 450–455, Dec. 2015. DOI 10.1016/j.physbeh.2015.06.024. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0031938415003728>.

POPKIN, Barry M; BARQUERA, Simon; CORVALAN, Camila; HOFMAN, Karen J; MONTEIRO, Carlos; NG, Shu Wen; SWART, Elizabeth C; TAILLIE, Lindsey Smith. Towards unified and impactful policies to reduce ultra-processed food consumption and promote healthier eating. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*, [s. l.], vol. 9, no. 7, p. 462–470, Jul. 2021. DOI 10.1016/S2213-8587(21)00078-4. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2213858721000784>. Acesso em: 20 de Novembro de 2025.

POSTA, Edit; FEKETE, Istvan; GYARMATI, Eva; STÜNDL, László; ZOLD, Eva; BARTA, Zsolt. The Effects of Artificial Sweeteners on Intestinal Nutrient-Sensing Receptors: Dr. Jekyll or Mr. Hyde? *Life*, [s. l.], vol. 14, no. 1, p. 10, 20 Dec. 2023. DOI 10.3390/life14010010. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-1729/14/1/10>. Acesso em: 20 de Novembro de 2025.

SERRANO, Joan; MESHRAM, Nishita N.; SOUNDARAPANDIAN, Mangala M.; SMITH, Kathleen R.; MASON, Carter; BROWN, Ian S.; TYRBERG, Björn; KYRIAZIS, George A. Saccharin Stimulates Insulin Secretion Dependent on Sweet Taste Receptor-Induced Activation of PLC Signaling Axis. *Biomedicines*, [s. l.], vol. 10, no. 1, p. 120, 6 Jan. 2022. DOI 10.3390/biomedicines10010120. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-9059/10/1/120>. Acesso em: 21 de Novembro de 2025.

SETO, Tyler; GRONDIN, Jensine A.; KHAN, Waliul I. Food Additives: Emerging Detrimental Roles on Gut Health. *The FASEB Journal*, [s. l.], vol. 39, no. 13, 15 Jul. 2025. DOI 10.1096/fj.202500737R. Disponível em: <https://faseb.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1096/fj.202500737R>. Acesso em: 22 de Novembro de 2025.

SIEVENPIPER, John L.; PURKAYASTHA, Sidd; GROTZ, V. Lee; MORA, Margaux; ZHOU, Jing; HENNINGS, Katherine; GOODY, Cynthia M.; GERMANA, Kristen. Dietary Guidance, Sensory, Health and Safety Considerations When Choosing Low and No-Calorie Sweeteners. *Nutrients*, [s. l.], vol. 17, no. 5, p. 793, 25 Feb. 2025. DOI 10.3390/nu17050793. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-6643/17/5/793>. Acesso em: 26 de Novembro de 2025.

STEFFEN, Brian T.; JACOBS, David R.; YI, So-Yun; LEES, Simon J.; SHIKANY, James M.; TERRY, James G.; LEWIS, Cora E.; CARR, John J.; ZHOU, Xia; STEFFEN, Lyn M. Long-term aspartame and saccharin intakes are related to greater volumes of visceral, intermuscular, and subcutaneous adipose tissue: the CARDIA study. *International Journal of Obesity*, [s. l.], vol. 47, no. 10, p. 939–947, 13 Oct. 2023. DOI 10.1038/s41366-023-01336-y. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41366-023-01336-y>. Acesso em: 20 de Novembro de 2025.





TAPANEE, Pradtana; REEDER, Nicole; CHRISTENSEN, Rebecca; TOLAR-PETERSON, Terezia. Sugar, non-nutritive sweetener intake and obesity risk in college students. *Journal of American College Health*, [s. l.], vol. 71, no. 7, p. 2093–2098, 2 Sep. 2023. DOI 10.1080/07448481.2021.1960844. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/07448481.2021.1960844>. Acesso em: 23 de Novembro de 2025.

THEODORAKIS, Nikolaos; KREOUZI, Magdalini; PAPPAS, Andreas; NIKOLAOU, Maria. Beyond Calories: Individual Metabolic and Hormonal Adaptations Driving Variability in Weight Management—A State-of-the-Art Narrative Review. *International Journal of Molecular Sciences*, [s. l.], vol. 25, no. 24, p. 13438, 15 Dec. 2024. DOI 10.3390/ijms252413438. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/25/24/13438>. Acesso em: 01 de Dezembro de 2025.

WANG, Qiao-Ping; LI, An-Qi; WANG, Bei; ZHAO, Xin-Yuan; LI, Sha-Sha; HERZOG, Herbert; NEELY, G. Gregory. Sucralose uses reward pathways to promote acute caloric intake. *Neuropeptides*, [s. l.], vol. 110, p. 102502, Mar. 2025. DOI 10.1016/j.npep.2025.102502. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0143417925000022>. Acesso em: 01 de Dezembro de 2025.

WHELAN, Kevin; BANCIL, Aaron S.; LINDSAY, James O.; CHASSAING, Benoit. Ultra-processed foods and food additives in gut health and disease. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, [s. l.], vol. 21, no. 6, p. 406–427, 22 Jun. 2024. DOI 10.1038/s41575-024-00893-5. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41575-024-00893-5>. Acesso em: 01 de Dezembro de 2025.

WU, Hung-Tsung; CHIANG, Chi-Chen; WANG, Chung-Teng; CHEN, Yue-Hwa; HSU, Shih-Yuan; CHEN, Yang-Ching. Consumption of the nonnutritive sweetener acesulfame potassium increases central precocious puberty risk. *Journal of Hazardous Materials*, [s. l.], vol. 461, p. 132529, Jan. 2024. DOI 10.1016/j.jhazmat.2023.132529. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304389423018125>. Acesso em: 01 de Dezembro de 2025.

YOON, Hyo Shin; CHO, Chung Hwan; YUN, Myeong Sik; JANG, Sung Jae; YOU, Hyun Ju; KIM, Jun-hyeong; HAN, Dohyun; CHA, Kwang Hyun; MOON, Sung Hyun; LEE, Kiuk; KIM, Yeon-Ji; LEE, Sung-Joon; NAM, Tae-Wook; KO, GwangPyo. Akkermansia muciniphila secretes a glucagon-like peptide-1-inducing protein that improves glucose homeostasis and ameliorates metabolic disease in mice. *Nature Microbiology*, [s. l.], vol. 6, no. 5, p. 563–573, 5 Apr. 2021. DOI 10.1038/s41564-021-00880-5. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41564-021-00880-5>. Acesso em: 04 de Dezembro de 2025.



Desafios e perspectivas na busca de novos medicamentos para o tratamento da Seps

Camila Ferreira Amaral Previato

Doutoranda em Ciências da Saúde

Universidade Estadual de Maringá (UEM)

E-mail: camilaamaralpreviato@gmail.com

RESUMO

Este capítulo tem como objetivo examinar os principais mecanismos fisiopatológicos da seps, bem como avaliar as estratégias terapêuticas atualmente empregadas e as inovações emergentes. A abordagem combina revisão teórica, síntese de protocolos clínicos utilizados na prática hospitalar e análise das novas propostas terapêuticas, como imunomoduladores e técnicas extracorpóreas. A metodologia empregada baseou-se em uma revisão narrativa da literatura, realizada em bases como *PubMed* e *Google Escolar*, além da consulta a diretrizes clínicas e documentos técnicos de órgãos oficiais. Foram utilizados descritores e combinações de termos relacionados à seps, terapias emergentes, tratamentos e protocolos hospitalares, com ênfase em publicações recentes e de relevância para a compreensão do tema proposto. Conclui-se que, embora a antibioticoterapia precoce e o suporte hemodinâmico permaneçam fundamentais, a heterogeneidade biológica da seps e a resistência microbiana limitam a eficácia desses métodos. Assim, o avanço terapêutico depende da implementação de medicina de precisão e da validação de intervenções mais individualizadas.

Palavras-chave: Medicina de precisão; Infecção generalizada; Imunoterapia.

ABSTRACT

This chapter aims to examine the main pathophysiological mechanisms of seps, as well as to evaluate the therapeutic strategies currently employed and the emerging innovations in the field. The approach combines a theoretical review, a synthesis of clinical protocols used in hospital practice, and an analysis of new therapeutic proposals such as immunomodulators and extracorporeal techniques. The methodology was based on a narrative literature review conducted in databases such as PubMed and Google Scholar, along with consultation of clinical guidelines and technical documents from official health agencies. Descriptors and combinations of terms related to seps, emerging therapies, treatments, and hospital protocols were used, with emphasis on recent publications relevant to the proposed topic. It is concluded that, although early antibiotic therapy and hemodynamic support remain essential, the biological heterogeneity of seps and microbial resistance limit the effectiveness of these approaches. Thus, therapeutic advancement depends on the implementation of precision medicine and the validation of more individualized interventions.

Keywords: Precision medicine; Seps; Immunotherapy.





Introdução

A Sepsé é uma síndrome de resposta inflamatória descontrolada, sendo causada por uma infecção em um tecido, no qual o organismo ao tentar combatê-la acaba levando a alterações sistêmicas e de modo que essa infecção se torna generalizada, necessitando então de um tratamento precoce. Entre 2010 e 2019 foram registradas 463 mil mortes por sepsé no Brasil, sendo uma síndrome de grande importância a nível nacional e internacional (Almeida et al., 2022). Alguns dados de 2017 trazem que foram registrados cerca de 48,9 milhões de casos de sepsé em todo o mundo, sendo notificados 11 milhões de mortes por esta síndrome (Rudd et al., 2020).

Tendo em vista o grande desafio que é a sepsé, se faz necessário conhecer a sua fisiopatologia, que quando ocorre o processo de disfunção orgânica durante a sepsé, temos a desregulação do processo inflamatório (Meyer; Prescott., 2024). Sabendo-se então que o processo inflamatório é uma resposta dos tecidos vascularizados frente a uma lesão tissular ou infecção, envolvendo uma ação coordenada do sistema imunológico e do tecido que foi alvo da injúria (Andrade et al., 2007). Essa resposta é caracterizada por eventos vasculares, celulares e linfáticos que se complementam com o objetivo de destruir, imobilizar ou diluir o agente agressivo e restituir o tecido danificado (Banerjee et al., 2003, Chen et al., 2018). Sendo a progressão da resposta inflamatória uma das características da sepsé, essa progressão é caracterizada pela ativação do sistema imune inato, liberação excessiva de citocinas, mieloperoxidasas (MPO) e também a geração de armadilhas neutrófilos-endoteliais (NETs), contribuindo para a desregulação e rompimento da homeostasia do organismo (Meyer; Prescott., 2024).

A remissão da doença é um objetivo em comum dos pesquisadores na terapêutica farmacológica, existem grandes avanços na indústria farmacêutica ao longo dos anos em relação à terapia, mas apesar de anos de pesquisa e ensaios clínicos realizados, até o momento não existe um único tratamento disponível que seja totalmente eficaz para combater a sepsé (Van Der Poll; Shankar-Hari; Wiersinga., 2021). Os fármacos disponíveis atualmente não possuem uma efetividade de cura, somente tratamento em longo prazo, sendo a droga de escolha a que possui eficácia e segurança terapêutica para o paciente, já que a sepsé continua sendo uma síndrome mal definida que não pode ser tratada por terapêuticas específicas. Além disso, se torna desafiador, pois existe uma heterogeneidade nas manifestações clínicas de paciente para paciente (Meyer; Prescott., 2024).

Sabendo-se a importância da sepsé e o seu risco para a sobrevivência dos pacientes, existem inúmeras pesquisas com embasamento em descobrir e encontrar novas terapias que atuem de maneira segura e eficaz nesta doença, para isso estudos com ênfase em sua fisiopatologia vêm sendo apresentados. Este capítulo tem por objetivo revisar na literatura as terapias disponíveis para a sepsé.

2. Metodologia

Trata-se de uma revisão narrativa da literatura, possibilitando a integração de diferentes tipos de evidências e abordagens teóricas (Pautasso, 2019). As buscas foram realizadas em novembro de 2025 nas bases PubMed (MeSH), Google Escolar e em documentos técnicos (ILAS). Foram utilizados descritores padronizados e termos livres, com combinações de palavras de busca adaptadas para cada base. Os descritores e palavras-chave principais incluíram: “Sepsis” OR “Sepsé”, “Therapies” OR “Terapias”, “Treatments” OR “Tratamentos”, “Hospital protocols” OR “Protocolos hospitalares”; sinônimos e termos relacionados (ex.: “immunotherapy”, “blood purification”, “antibiotic stewardship”, “septic shock”) também foram empregados para ampliar a busca.





Não houve delimitação rígida de período, porém priorizaram-se publicações dos últimos 5 anos (2020–2025) e documentos considerados de maior relevância histórica ou metodológica. Foram incluídos artigos originais, revisões, diretrizes, relatórios técnicos e metanálises em português, inglês ou espanhol. Excluíram-se relatos de caso isolados sem contribuição analítica relevante, comunicações de eventos sem texto completo e material não relacionado ao escopo.

3. Desenvolvimento e Discussão

3.1 Fisiopatologia da sepse

A sepse possui a característica de ser uma síndrome da resposta inflamatória sistêmica, como não possui uma única origem e a resposta pode variar de paciente para paciente, o que acaba tornando a evolução da doença de difícil tratamento, sendo complexa de ser totalmente compreendida (Liu et al., 2022).

E como ocorre a sepse? Tendo em vista os principais mecanismos em que a sepse possui, temos a inflamação, um mecanismo de defesa essencial para a saúde, que é a resposta do organismo frente a uma injúria tecidual ou infecção, envolvendo também outros sistemas, como o imunológico. Sendo uma resposta protetora do organismo, seu principal objetivo é eliminar o agente causador da injúria, propondo a neutralização do estímulo e estabelecendo a funcionalidade do tecido. Na tentativa da eliminação do agente agressor, vários mediadores químicos são liberados, tais como histamina, prostaglandinas, citocinas e quimiocinas. Esses mediadores desencadeiam alterações inicialmente caracterizadas por vasoconstrição arteriolar transiente, de curta duração, associado à liberação de substâncias como a adrenalina, que atua sobre a musculatura lisa vascular, posteriormente há dilatação dos vasos da microcirculação, aumento do fluxo sanguíneo e da permeabilidade vascular, com extravasamento do líquido plasmático e formação de edema. Após estas alterações, ocorre a diapedese das células para o meio extracelular e fagocitose do agente nocivo (Aghasafari et al., 2019; Freitas et al., 2019).

A resposta inflamatória pode ser dividida em duas fases: fase aguda e fase crônica. A inflamação aguda é caracterizada por sua duração, podendo durar poucas horas ou dias, e intensidade com que este processo ocorre. O início desta resposta é feito pelo reconhecimento do agente invasor por meio de padrões moleculares associados a patógenos (PAMPs) ou padrões moleculares associados a danos (DAMPs). Após o reconhecimento, é possível observar a predominância de exsudato, proteínas do plasma e células leucocitárias, predominantemente leucócitos polimorfonucleares (PMN), também chamados de neutrófilos (Chen et al., 2018).

A migração das células PMN para o sítio da injúria é um fator crucial para a defesa do hospedeiro. Este processo é mediado por uma cascata de sinalização que envolve a participação de moléculas de adesão, como as integrinas, citocinas, tais como as interleucinas (IL)-1, IL-6, IL-1 β e IL-18 e fator de necrose tumoral (TNF) e quimiocinas (Kumar et al., 2016). No processo de migração, os leucócitos circulantes rolam lentamente sobre o endotélio vascular, aderindo transitoriamente as moléculas de adesão pertencentes à família das selectinas (E e P-selectinas nas células endoteliais e L-selectinas nos leucócitos) e seus respectivos ligantes (carboidratos). Em seguida, ocorre a firme adesão dos leucócitos ao endotélio vascular, processo esse mediado por uma outra classe de moléculas de adesão, as integrinas. As integrinas mais importantes que atuam na adesão de leucócitos pertencem a família das β 1-integrinas e β 2-integrinas. Estas interagem com moléculas de adesão da superfamília das imunoglobulinas da superfície endotelial, como as moléculas de adesão intercelular (ICAM) e moléculas de adesão vascular (VCAM-1), permitindo a adesão firme dos leucócitos ao endotélio e posterior transmigração (Sallusto; Baggiolini, 2008; Kumar et al., 2016).





Após esses mecanismos de adesão entre as células, os leucócitos atravessam dos espaços interendoteliais (diapedese) e se dirigem ao foco da lesão, processo esse conhecido como quimiotaxia. A quimiotaxia é definida como a locomoção das células ao longo de um gradiente químico. Substâncias endógenas e exógenas podem ser quimioatrativas, as exógenas podem ser peptídeos de origem bacteriana e endógeno alguns mediadores químicos, como as quimiocinas (IL-8). Dentre as moléculas de adesão a PECAM-1 (molécula de adesão celular endotelial plaquetária) é a mais importante neste processo, que está envolvida em transmigração de leucócitos e ativação de integrinas (Arif et al., 2021; Kumar et al., 2016; Metzemaekers et al., 2020).

Uma das etapas importantes na tentativa de retomar a funcionalidade é a retirada do agente agressor mediante a fagocitose, no qual os leucócitos se ligam a lipopolissacarídeos (LPS) ou outros proteoglicanos e lipídeos (componentes bacterianos), mediado por receptores do tipo Toll (TLRs) expressos na membrana dos leucócitos e os englobam através de extensões do citoplasma chamados pseudópodos. Quando o microorganismo adentra o leucócito, é formada uma vesícula que se funde com o lisossomo, formando assim o fagolisossoma. Nesta vesícula são liberados grânulos contendo enzimas que alteram o pH do meio para erradicar o microorganismo/ agente da injúria (Aghasafari et al., 2019). Ao mesmo tempo, algumas enzimas são ativadas no citoplasma dos leucócitos, tais como a fagócito oxidase, que irá auxiliar na formação das Espécies Reativas de Oxigênio (ERO), que se juntam ao lisossoma para a eliminação do microorganismo (Varela et al., 2018; Aghasafari et al., 2019).

A resolução da inflamação inicia-se nas primeiras horas após o início da resposta inflamatória, sendo mediada pela liberação de moléculas chamadas de moléculas especializadas na resolução, tais como as lipoxinas, resolvinas e protectinas. As lipoxinas (LXA) atuam no receptor FPR2/ALX pertencente à família dos receptores FPR (do inglês, formylpeptide receptor). Em neutrófilos, a interação LXA-FPR2 inibe a migração de neutrófilos. Além disso, as LXAs diminuem a produção de superóxido e citocinas por granulócitos, promovem a ativação da fagocitose de microorganismos e de células apoptóticas por macrófagos (Pádua, 2016). As resolvinas e protectinas reduzem a quimiotaxia, promovem fagocitose, inibem a indução de $TNF-\alpha$ e $NF\kappa B$, inibem da geração de superóxido e também regulam as moléculas de adesão da superfície celular que são essenciais para a saída de leucócitos (Barbalho et al., 2011; Serhan & Petasis., 2011; Buckley et al., 2013).

Durante todo esse processo inflamatório também existe o sistema imune atuando em conjunto para trazer a resolução do problema, as células da imunidade inata atuam como a primeira linha de defesa para reconhecer os patógenos. Com isso, também há a ativação do sistema complemento liberando principalmente C3a e C5a. O sistema de coagulação também é ativado, podendo formar microtrombos e levando a Coagulação Intravascular Disseminada (CIVD), uma síndrome em que pequenos coágulos se formam em todo o corpo, obstruindo pequenos vasos, assim causando sangramento e danos aos órgãos. A liberação excessiva do sistema imune, juntamente com citocinas pró inflamatórias, faz com que esse processo, se não tratado, leva à falência de órgãos, levando o paciente ao choque séptico e consequentemente a morte (Liu et al., 2022).

Por muito tempo as pesquisas demonstravam que extinguir o processo inflamatório como um todo seria a cura dos pacientes, porém com anos de estudos essa teoria foi deposta, pois sabe-se que este processo inflamatório se eliminado por completo, sem a eliminação do agente invasor, causa um desequilíbrio, fazendo com que leve o paciente ao um choque séptico. Por isso a importância de ter um equilíbrio entre a resposta inflamatória e anti-inflamatória (Pei et al., 2022).





3.2 Protocolo Hospitalar

Para se obter o melhor tratamento para o paciente, existem algumas classificações da sepse disponíveis. De acordo com o Instituto Latino Americano de Sepse (ILAS) existem três classificações, sendo Infecção sem disfunção (Infecção suspeita ou confirmada, sem disfunção orgânica, de forma independente da presença de sinais de Síndrome da Resposta Inflamatória Sistêmica (SRIS)), Sepse (Infecção suspeita ou confirmada associada a disfunção orgânica, de forma independente da presença de sinais de SRIS) e Choque séptico (Sepse que evoluiu com hipotensão não corrigida com reposição volêmica, de forma independente de alterações de lactato). Conforme a classificação, a forma de tratamento utilizada irá se alterar, então para isso é de suma importância a confirmação dos parâmetros em que o paciente apresenta (ILAS, 2018).

O tratamento precoce é um dos recursos disponíveis para a tentativa em combater a sepse. Na maioria dos hospitais são realizados protocolos clínicos com o intuito de identificar precocemente essa síndrome. Existem alguns protocolos disponíveis, como o Sepsis Related Organ Failure Assessment (SOFA) complexo e específico e também o Instituto Latino Americano de Sepse (ILAS) no qual apresenta as principais disfunções orgânicas, que são parâmetros para auxiliar os profissionais da saúde a identificar e proceder com o diagnóstico de sepse ao paciente (Srzić; Neseć; Tunjić., 2022; De Souza et al., 2025).

Dentre os parâmetros, encontra-se hipotensão, oligúria ($\leq 0,5 \text{ mL/Kg/h}$), elevação da creatinina ($> 2 \text{ mg/dL}$), contagem de plaquetas $< 100.000 \text{ mm}^3$, lactato acima do valor de referência, rebaixamento do nível de consciência, agitação, delirium, aumento significativo de bilirrubinas ($> 2 \times$ o valor de referência). Segundo o ILAS, a presença de um destes parâmetros sem explicação plausível e com algum foco infeccioso o diagnóstico de sepse deve ser feito e iniciar o protocolo de tratamento disponível pelo hospital (ILAS, 2018).

Assim iniciado o tratamento, o primeiro procedimento a seguir é a realização de alguns exames, como gasometria e lactato arterial, hemograma completo, creatinina, bilirrubina e coagulograma. Essas avaliações devem ser realizadas na primeira hora do início do tratamento, se possível com resultados em até 30 minutos. Também realizar a hemocultura de sítios distintos, como aspirado traqueal, líquido e urocultura, isso precisa ocorrer antes da administração com antimicrobiano. A realização da reposição volêmica também é indicada, com soluções de Ringer Lactato, pois níveis elevados de Lactato demonstram um mal prognóstico do paciente, já que com a vasodilatação, queda do fluxo sanguíneo que vai para os órgãos (hipóxia tecidual), o corpo tende a buscar energia por via anaeróbia, fazendo com que aumente a produção de lactato, este sendo um marcador importante da evolução da sepse no paciente (ILAS, 2018; De Souza et al., 2025; Bezerra et al., 2024).

A escolha do antibiótico a ser utilizado vai ser de acordo com os resultados encontrados e também seguindo o protocolo específico para cada hospital, seguindo a idade do paciente se adulto ou infantil, também a localização do sítio de infecção da sepse e resistência ao antimicrobiano disponível. Atualmente, os antibióticos mais utilizados são, Amoxicilina + Clavulanato EV, Cefalotina EV, Ceftriaxona EV, Ciprofloxacino, Meropenem EV e Vancomicina EV, sendo frequentemente escolhidos conforme a cultura de bactérias identificadas e também podendo atuar em conjunto com outros antibióticos (Da Silva et al., 2024).

A dosagem dos antimicrobianos deve ser a máxima para o foco de infecção suspeito, não necessitando de ajuste para a função renal ou hepática. Quando há indícios de resistência bacteriana, a combinação de uma ou mais drogas é recomendada, conforme a evolução do paciente. O uso de corticoides é recomendado em casos mais graves, sendo o mais utilizado a Hidrocortisona na dosagem de 50 mg a cada 6 horas (ILAS, 2018).





3.3 Novos Tratamentos

Os tratamentos amplamente utilizados e descritos em protocolos são a antibioticoterapia e reposição volêmica. Mas com a evolução nas pesquisas, novas terapias vêm surgindo, sendo levado em consideração uma personalização do tratamento de cada indivíduo, já que cada organismo responde de maneira diferente. Intervenções voltadas à modulação da inflamação e também um suporte hemodinâmico personalizado vem sendo aplicados na prática clínica (Barbosa et al., 2025).

Dentre esses tratamentos, destaca-se para tratamentos com anticorpos monoclonais, inibidores de citocinas e plasma convalescente, sendo promissores nos estudos. Segundo Slim et al (2024), existem ensaios que testam o bloqueio da imunidade inata, já que está é responsável pelo avanço da doença e também alguns testes realizados com inibidores de receptores para Toll-Like-4 (TLR4) e Anti-TNF α , ambos os estudos não tiveram resultados significativos no tratamento da sepse.

Há registros de estudos que aplicaram antagonistas de citocinas, como a principal estudada na sepse a IL-6, apresentando um bom resultado, mas ainda assim necessitando de mais estudos para garantir sua efetividade. O equilíbrio entre a inflamação e o processo anti-inflamatório é essencial, então também existem pesquisas que seguem este caminho, como o uso intravenoso de IL-7, GM-CSF (fator estimulador de colônias de granulócitos e monócitos) e imunoglobulina, com o objetivo de restabelecer o sistema imune que tende a ser imunossuprimido na sepse. Tendo como ponto principal a tentativa de diminuir infecções secundárias causadas pela sepse, pois os pacientes passam longos períodos nos leitos de UTI. Os estudos com a aplicação de imunoglobulina endovenosa foram favoráveis, reduzindo o índice de mortalidade de pacientes internados com sepse (Barbosa et al., 2025; De Mattos et al., 2024).

Outra abordagem que vem sendo estudada, é a purificação sanguínea, no qual o paciente passa por um processo onde o sangue é retirado, passando por filtros, deste modo, endotoxinas e citocinas pró-inflamatórias são reduzidas, auxiliando no processo de diminuição da inflamação. Porém, a filtragem não é garantida e também citocinas anti-inflamatórias, como a IL-10 podem ser filtradas, deste modo não é uma técnica totalmente eficaz (Slim et al., 2024; Saldaña-Gastulo et al., 2023).

A maioria dos tratamentos são feitos de forma complementar ao tratamento convencional, então existem dificuldades em avaliar se realmente estas novas terapias estão sendo eficazes para os pacientes internados.

Conclusão e Perspectivas futuras

A terapia atual da sepse nos hospitais segue protocolos estabelecidos que incluem identificação precoce, ressuscitação hemodinâmica, controle da fonte infecciosa e início rápido de antimicrobianos de amplo espectro. Apesar de esses pilares permanecerem fundamentais, a crescente complexidade da sepse, marcada por disfunção orgânica progressiva e grande heterogeneidade individual, tem impulsionado o desenvolvimento de novas terapias capazes de modular a resposta do hospedeiro e melhorar o prognóstico.

Entre as estratégias destacam-se abordagens de imunoterapias (como agonistas de IL-7 e GM-CSF) e técnicas de purificação sanguínea. Embora promissoras, essas intervenções ainda carecem de padronização, especialmente pela ausência de biomarcadores validados que identifiquem o paciente ideal, o momento adequado e a intensidade terapêutica necessária. Muitas dessas tecnologias apresentam evidências clínicas heterogêneas, estudos com amostras reduzidas e resultados conflitantes quanto ao impacto em mortalidade, limitando sua eficácia e adesão.





Outro obstáculo relevante é a resistência bacteriana crescente, que compromete a eficácia de antibióticos utilizados empiricamente e aumenta a probabilidade de falha terapêutica inicial, dificultando o controle da infecção e reduzindo a efetividade de terapias adjuvantes. Reforçando a necessidade de diagnósticos rápidos e integração de novas drogas e estratégias de modulação imune.

A falta de padronização também decorre da natureza multifatorial da sepse: a resposta inflamatória pode variar desde uma resposta inflamatória exacerbada até imunossupressão profunda, tornando inviável uma abordagem única.

Diante desses desafios, as perspectivas futuras dependem da integração entre terapias de suporte consolidadas, avanços em imunomodulação e tecnologias capazes de individualizar o tratamento, aliadas a ensaios clínicos adaptativos, utilizar marcadores de citocinas, resposta imune do hospedeiro e avaliação de custo-efetividade. A evolução do cuidado da sepse, exige não apenas novos medicamentos e dispositivos, mas também a capacidade de os aplicar de forma precisa, segura e alinhada ao perfil único de cada paciente.





REFERÊNCIAS

AGHASAFARI, Parya; GEORGE, Uduak; PIDAPARTI, Ramana. A review of inflammatory mechanism in airway diseases. *Inflammation Research*, v. 68, p. 59-74, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00011-018-1191-2>. Acesso em: 30 de Nov. de 2026.

ALMEIDA, Nyara Rodrigues Conde de et al. Analysis of trends in sepsis mortality in Brazil and by regions from 2010 to 2019. *Revista de saúde publica*, v. 56, p. 25, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/s1518-8787.2022056003789>. Acesso em: 30 de Nov. de 2026.

ANDRADE, S. F. et al. Anti-inflammatory and antinociceptive activities of extract, fractions and populnoic acid from bark wood of *Austroplenckia populnea*. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 109, n. 3, p. 464-471, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2006.08.023>. Acesso em: 30 de Nov. de 2026.

ARIF, Nida et al. PECAM-1 supports leukocyte diapedesis by tension-dependent dephosphorylation of VE-cadherin. *The EMBO Journal*, v. 40, n. 9, p. e106113, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.15252/emboj.2020106113>. Acesso em: 30 de Nov. de 2026.

BARBALHO, Sandra et al. Papel dos ácidos graxos ômega 3 na resolução dos processos inflamatórios. *Medicina (Ribeirão Preto)*, v. 44, n. 3, p. 234-240, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.2176-7262>. Acesso em: 30 de Nov. de 2026.

BARBOSA, Jonas Pedro et al. Inovações Terapêuticas na Sepse: Estratégias Imunomoduladoras e Suporte Hemodinâmico na Perspectiva Multiprofissional. *INTERFERENCE: A JOURNAL OF AUDIO CULTURE*, v. 11, n. 2, p. 5035-5049, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.36557/2009-3578.2025v11n2p5035-5049>. Acesso em: 30 de Nov. de 2026.

BEZERRA, Lucas Mainardo Rodrigues et al. SEPSE: Uma Visão Geral das Causas, Sintomas e Tratamentos Atuais-Uma Revisão Bibliográfica de Literatura. *RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218*, v. 5, n. 3, p. e534973-e534973, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.47820/recima21>. Acesso em: 30 de Nov. de 2026.

BUCKLEY, Christopher et al. The resolution of inflammation. *Nature Reviews Immunology*, v. 13, n. 1, p. 59-66, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nri3362>. Acesso em: 30 de Nov. de 2026.

CHEN, Linlin et al. Inflammatory responses and inflammation-associated diseases in organs. *Oncotarget*, v. 9, n. 6, p. 7204, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.18632/oncotarget.23208>. Acesso em: 30 de Nov. de 2026.

DA SILVA, Luís Otávio et al. Uma análise do uso de antibióticos hospitalares para a sepse no município de Mogi Mirim–SP. *Cuadernos de Educación y Desarrollo*, v. 16, n. 7, p. e4962-e4962, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.55905/cuadv16n7-134>. Acesso em: 30 de Nov. de 2026.

DE MATTOS, Bibiana et al. Sepsis: um estudo sobre o pacote da primeira hora. *Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences*, v. 6, n. 9, p. 2614-2623, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.36557/2674-8169.2024v6n9p2614-2623>. Acesso em: 30 de Nov. de 2026.





DE SOUZA, Kétlyn; ROCHA, Pollyanna; de DEUS, Vanessa; NOGUEIRA, Manuella. Estratégias de Enfermagem na Identificação e Tratamento Precoce da Seps: Uma Revisão Bibliográfica. *Revista Multidisciplinar Integrada-REMI*, v. 4, n. 1, p. 1-20, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.61164/04fx0s40>. Acesso em: 30 de Nov. de 2026.

FREITAS, Priscilla Ramos et al. Abordagens terapêuticas nas doenças inflamatórias: uma revisão. *Revista Interfaces*, v. 7, n. 2, p. 318-324, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.16891/2317-434X.v7.e2.a2019.pp318-324>. Acesso em: 30 de Nov. de 2026.

INSTITUTO LATINO AMERICANO DE SEPSE (ILAS). Implementação de Protocolo Gerenciado de Seps: Protocolo Clínico – Atendimento ao paciente adulto com seps/choque séptico. Revisado em agosto de 2018. Disponível em: <https://ilas.org.br/wp-content/uploads/2022/02/protocolo-de-tratamento.pdf>. Acesso em: 30 de Nov. de 2026.

KUMAR, Vinay; ABBAS, Abul K.; ASTER, Jon C. Robbins & Cotran: patologia: bases patológicas das doenças. 8. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. Disponível em: <https://farmatecaunicatolica.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/12/robbins-cotran-patologia-bases-patolc3b3gicas-das-doenc3a7as-8ed.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2026.

METZEMAEKERS, Mieke; GOUWY, Mieke; PROOST, Paul. Neutrophil chemoattractant receptors in health and disease: double-edged swords. *Cellular & molecular immunology*, v. 17, n. 5, p. 433-450, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41423-020-0412-0>. Acesso em: 30 de Nov. de 2026.

MEYER, Nuala J.; PRESCOTT, Hallie C. Sepsis and septic shock. *New England Journal of Medicine*, v. 391, n. 22, p. 2133-2146, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1056/NEJMra2403213>. Acesso em: 30 de Nov. de 2026.

PAUTASSO, Marco. The structure and conduct of a narrative literature review. A guide to the scientific career: Virtues, communication, research and academic writing, p. 299-310, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9781118907283.ch31>. Acesso em: 30 de Nov. de 2026.

PEI, Fei et al. Expert consensus on the monitoring and treatment of sepsis-induced immunosuppression. *Military Medical Research*, v. 9, n. 1, p. 74, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40779-022-00430-y>. Acesso em: 30 de Nov. de 2026.

RUDD, Kristina E. et al. Global, regional, and national sepsis incidence and mortality, 1990-2017: analysis for the Global Burden of Disease Study. *The Lancet*, v. 395, n. 10219, p. 200-211, 2020. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)32989-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)32989-7). Acesso em: 30 de Nov. de 2026.

SALDAÑA-GASTULO, Jiovany Jhan Carlos et al. Hemoabsorção de citocinas com CytoSorb® em pacientes com seps: revisão sistemática e metanálise. *Critical Care Science*, v. 35, p. 217-225, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/2965-2774.20230289-pt>. Acesso em: 30 de Nov. de 2026.

SALLUSTO, Federica; BAGGIOLINI, Marco. Chemokines and leukocyte traffic. *Nature immunology*, v. 9, n. 9, p. 949-952, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/ni.f.214>. Acesso em: 30 de Nov. de 2026.

SERHAN, Charles; PETASIS, Nicos. Resolvins and protectins in inflammation resolution. *Chemical reviews*, v. 111, n. 10, p. 5922-5943, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/cr100396c>. Acesso em: 30 de Nov. de 2026.





SLIM, Marleen A. et al. Towards personalized medicine: a scoping review of immunotherapy in sepsis. *Critical Care*, v. 28, n. 1, p. 183, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13054-024-04964-6>. Acesso em: 30 de Nov. de 2026.

SRZIĆ, Ivana; NESEK ADAM, Višnja; TUNJIĆ PEJAK, Darinka. Definicija sepse: Što je novo u smjernicama za liječenje. *Acta clinica Croatica*, v. 61, n. Supplement 1, p. 67-72, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.20471/acc.2022.61.s1.11>. Acesso em: 30 de Nov. de 2026.

VAN DER POLL, Tom; SHANKAR-HARI, Manu; WIERSINGA, W. Joost. The immunology of sepsis. *Immunity*, v. 54, n. 11, p. 2450-2464, 2021. Disponível em: <https://10.1016/j.immuni.2021.10.012>. Acesso em: 30 de Nov. de 2026.

VARELA, Miguel et al. Acute inflammation and metabolism. *Inflammation*, v. 41, p. 1115-1127, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10753-018-0739-1>. Acesso em: 30 de Nov. de 2026.



Microbiologia da água potável na perspectiva da Saúde Única

Emilly Brito Ferreira

Doutoranda em Biociências e Fisiopatologia
Universidade Estadual de Maringá -UEM
E-mail: emillybbferreira@gmail.com

Jean Lopes da Silva

Mestre em Ciências Agrárias
Universidade Estadual de Maringá -UEM
E-mail: jeanlopessilva02@gmail.com

Rafaela Fátima Lima da Silva

Graduanda em Ciências Biológicas
Universidade Estadual de Maringá -UEM
E-mail: rafaela.fatimalimasilva@gmail.com

Etyene Maria Moreira Custódio

Mestranda em Biociências e Fisiopatologia
Universidade Estadual de Maringá -UEM
E-mail: etyenemcustodio.20@gmail.com

Maria Regina Guedes

Graduanda em Ciências Biológicas
Universidade Estadual de Maringá -UEM
E-mail: mariareginaguedes13@gmail.com

Fabília Gimenes

Prof. Dr. em Ciências Biológicas
Universidade Estadual de Maringá -UEM
E-mail: fgimenes@uem.br

Benício Alves de Abreu Filho

Prof. Dr. em Ciência de Alimentos
Universidade Estadual de Maringá -UEM
E-mail: baafilho@uem.br





RESUMO

Este estudo analisa a gestão da água potável sob a perspectiva da Saúde Única (*One Health*), investigando como a integração entre as saúdes humana, animal e ambiental é determinante para a segurança hídrica contemporânea. O problema central da pesquisa reside na insuficiência do paradigma tradicional de vigilância hídrica frente às ameaças emergentes, como a resistência antimicrobiana (RAM) e patógenos persistentes. O objetivo geral consiste em avaliar a importância da água potável através da ótica da Saúde Única, destacando os desafios microbiológicos e as novas tecnologias de monitoramento. Como objetivos específicos, o trabalho identifica as limitações dos indicadores fecais clássicos, examina o papel da agropecuária na disseminação de genes de resistência e discute a eficácia da epidemiologia baseada em esgoto. A metodologia caracteriza-se como uma revisão integrativa de literatura nas bases *ScienceDirect* e *PubMed*, abrangendo publicações dos últimos cinco anos. Os resultados indicam que a contaminação microbiológica é impulsionada por fatores antrópicos e eventos climáticos, exigindo ferramentas moleculares para uma detecção precoce. Conclui-se que a proteção da saúde pública depende de políticas integradas que transcendam o tratamento da água e alcancem a gestão sustentável dos mananciais e da produção animal.

Palavras-chave: Vigilância epidemiológica; Resistência antimicrobiana; Patógenos emergentes

ABSTRACT

This study analyzes drinking water management from a One Health perspective, investigating how the integration of human, animal, and environmental health is determining for contemporary water security. The central research problem lies in the insufficiency of the traditional water surveillance paradigm when facing emerging threats, such as antimicrobial resistance (AMR) and persistent pathogens. The general objective is to assess the significance of potable water through the One Health lens, highlighting microbiological challenges and novel monitoring technologies. Specifically, this work identifies the limitations of classical fecal indicators, examines the role of livestock in the dissemination of resistance genes, and discusses the efficacy of wastewater-based epidemiology. The methodology consists of an integrative literature review conducted in the ScienceDirect and PubMed databases, encompassing publications from the last five years. The findings indicate that microbiological contamination is driven by anthropogenic factors and extreme weather events, necessitating molecular tools for early detection. It is concluded that protecting public health depends on integrated policies that go beyond water treatment to encompass the sustainable management of watersheds and livestock production.

Keywords: Epidemiological surveillance; antimicrobial resistance; emerging pathogens.

Introdução

A água é um recurso essencial para a vida, para o equilíbrio dos ecossistemas e para o desenvolvimento humano, sendo sua qualidade diretamente associada às condições de saúde e bem-estar das populações (Afonso et al., 2025; Wang et al., 2024; Tufail et al., 2025). No Brasil, a Portaria GM/MS nº 888/2021 define a água potável como aquela que atende integralmente aos padrões de qualidade e é segura para uso (Brasil, 2021). No entanto, garantir esse acesso seguro permanece um desafio, especialmente em regiões marcadas pela desigualdade social e infraestrutura sanitária insuficiente (Boas et al., 2025), além da deterioração progressiva de mananciais por atividades antrópicas, como o escoamento agrícola e a urbanização desordenada (Rose et al., 2025; Tufail et al., 2025; Wang et al., 2024).





Atualmente, as regulamentações que regem a segurança microbiológica da água baseiam-se prioritariamente na probabilidade de contaminação fecal, utilizando metodologias convencionais de cultura para detectar coliformes. Embora aplicadas há muito tempo, essas técnicas permanecem praticamente inalteradas e apresentam limitações. Mais de noventa e nove por cento das bactérias não são cultiváveis por esses métodos, além de haver uma fraca correlação entre coliformes totais e outros marcadores de patogenicidade, somada à emergência de patógenos não fecais nos sistemas de distribuição (Afonso et al., 2025).

Diante dessa insuficiência na vigilância tradicional, que não é mais capaz de cobrir todas as rotas de contaminação e mecanismos de sobrevivência microbiana (Iyer et al., 2025; Afonso et al., 2025), este capítulo busca responder à seguinte pergunta de pesquisa: Como a abordagem de Saúde Única pode estruturar um modelo de vigilância hídrica capaz de mitigar os riscos da resistência antimicrobiana e de patógenos zoonóticos que desafiam o tratamento convencional? Para responder a essa questão central, o estudo propõe-se a analisar as limitações dos indicadores clássicos de contaminação frente a patógenos emergentes e biofilmes, avaliar a interface crítica entre a saúde animal e a qualidade microbiológica dos mananciais, e explorar as potencialidades das novas ferramentas moleculares e da epidemiologia baseada em esgoto na prevenção de surtos.

A relevância desta discussão justifica-se pela limitada disponibilidade de água doce no planeta (Bochynska et al., 2024; Kianfar, 2025) e pela persistência de doenças de transmissão hídrica (WHO, 2017; Brasil, 2025; Tufail et al., 2025). Estimativas da Organização Mundial da Saúde indicam que cerca de seiscentos milhões de pessoas adoecem anualmente devido a doenças de transmissão hídrica e alimentar (DTHA), resultando em quatrocentos e vinte mil mortes. No Brasil, entre 2007 e 2020, foram registrados, em média, 662 surtos anuais de DTHA, totalizando mais de cento e cinquenta e seis mil casos e cento e cinquenta e dois óbitos no período (Brasil, 2025). Diante desse cenário, torna-se essencial uma gestão integrada dos recursos hídricos, baseada no monitoramento sistemático da qualidade da água e na implementação de políticas de saneamento ambiental.

2. Metodologia

Foi conduzida uma revisão integrativa nas bases *ScienceDirect* e *PubMed*, empregando combinações de descritores como “potable water”, “microorganisms”, “one health”, “water sources”, “livestock”, “ecology”, “outbreak”, “water transmission”, “illness” e “wastewater-based epidemiology”. A busca foi delimitada a publicações dos últimos cinco anos, abrangendo estudos originais e revisões sistemáticas. Outras fontes foram acrescentadas por meio da estratégia de *snowballing*, ou seja, a inclusão de referências presentes nos artigos previamente selecionados. Também foram consultados documentos legais brasileiros, publicações oficiais do governo e obras acadêmicas para enriquecer o embasamento teórico e normativo da revisão.

3. Desenvolvimento

3.1. Indicadores de contaminação hídrica e legislação brasileira

Aproximadamente metade da população mundial depende de fontes superficiais para o abastecimento de água potável, e reservatórios são essenciais para garantir o fornecimento contínuo ao armazenarem água bruta. A preservação da qualidade na origem é indispensável, pois aumentos em bactérias indicadoras podem apontar contaminação e comprometer os padrões de potabilidade, afetando a eficácia do tratamento e a proteção da saúde pública (Veras et al., 2025). Como não é viável, devido à complexidade e





custo, monitorar todos os patógenos presentes nos mananciais ou ao longo do sistema de distribuição, os programas de vigilância utilizam organismos indicadores como ferramenta central na avaliação do risco microbiológico (Afonso et al., 2025). Contudo, essa simplificação mostra-se insuficiente para garantir a segurança microbiológica absoluta, pois a ausência desses indicadores não descarta a presença de ameaças persistentes, como biofilmes, vírus e genes de resistência.

Fundamentando-se nesse modelo de viabilidade, embora limitado, a Agência de Proteção Ambiental (EPA) destaca o grupo coliforme como um indicador de contaminação hídrica, dada sua ubiquidade e sensibilidade às condições ambientais e aos processos de tratamento. Os coliformes totais (Ct) refletem falhas no tratamento ou contaminação pós-tratamento, enquanto os coliformes termotolerantes (Ctt), especialmente *Escherichia coli*, constituem marcadores mais específicos de poluição fecal (Boas et al., 2025; Veras et al., 2025). As distinções entre esses grupos estão apresentadas na Tabela 1. No Brasil, a Portaria GM/MS nº 888/2021 estabelece que a conformidade bacteriológica é garantida quando não há detecção de Ct ou Ctt em cem mL de água (Brasil, 2021).

Tabela 1. Diferenças entre coliformes totais e coliformes termotolerantes.

Características	Coliformes Totais	Coliformes Termotolerantes
Origem	Ambiental e fecal	Exclusivamente fecal
Aspectos	Fermentam lactose e produzem gás dentro de 48 horas a 35-37 °C	Fermentam lactose e produzem gás dentro de 24 horas a 44-45 °C
Exemplo de microrganismo	<i>Enterobacter</i> spp., <i>Klebsiella</i> spp., <i>Citrobacter</i> spp.	<i>Escherichia coli</i>

Fonte: Tortora et al. (2017), modificado; WHO, 2017.

3.2. Microrganismos como poluentes biológicos e riscos para a saúde

A água destinada ao consumo humano pode conter uma variedade de microrganismos que comprometem sua qualidade e representam riscos à saúde pública, incluindo bactérias, vírus, fungos, parasitas e protozoários, presentes desde a captação até a distribuição (Afonso et al., 2025; Kianfar, 2025). Entre eles, as bactérias patogênicas são especialmente preocupantes devido à sua rápida capacidade de multiplicação, à produção de toxinas e ao potencial de causar infecções graves, agravadas pelo surgimento de cepas resistentes a antibióticos. Grupos vulneráveis, como crianças, idosos e indivíduos imunocomprometidos, apresentam maior risco diante dessas exposições (Tufail et al., 2025; Iyer et al., 2025).

Os agentes bacterianos de maior relevância epidemiológica incluem *Vibrio cholerae*, *Salmonella Typhi*, *Shigella* spp., *Campylobacter jejuni*, *Aeromonas* spp., *E. coli*, *Yersinia enterocolitica*, *Legionella* spp., *Pseudomonas aeruginosa* e várias espécies de *Mycobacterium*, responsáveis por doenças como cólera, febre tifóide, disenteria, hepatites e gastroenterites. Esses patógenos continuam a representar desafios expressivos aos sistemas de saúde pública e reforçam a necessidade de vigilância contínua e estratégias de controle mais eficazes (Afonso et al., 2025; Iyer et al., 2025; Kianfar, 2025).

3.3. Ecologia microbiana e qualidade dos mananciais

A qualidade da água e a sustentabilidade dos recursos hídricos dependem diretamente da integridade dos mananciais superficiais e subterrâneos, que sustentam o equilíbrio ecológico e o abastecimento humano. Contudo, esses ecossistemas vêm sendo degradados por pressões antrópicas, como despejo de esgoto, uso excessivo de fertilizantes, poluição industrial e agrícola, urbanização desordenada e introdução de





espécies invasoras, comprometendo tanto o ambiente quanto a saúde pública (Singh et al., 2025; Rose et al., 2025). Rios e reservatórios, por receberem escoamento superficial e efluentes diversos, tornam-se particularmente vulneráveis à poluição difusa, ao excesso de nutrientes e à eutrofização, além da contaminação por metais pesados, microplásticos e fármacos, que afetam a organização microbiana e a hidroquímica local (Das, 2025).

A degradação desses ambientes favorece ainda o surgimento e disseminação de bactérias resistentes, resultado da presença de antimicrobianos, metabólitos e oligoelementos provenientes de esgotos e efluentes hospitalares, conforme alerta o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Silva et al., 2024). Diante desse cenário, o monitoramento contínuo, integrando parâmetros físico-químicos, biológicos e microbiológicos, é essencial para compreender a dinâmica dos mananciais, identificar fontes de poluição e orientar a gestão sustentável das bacias hidrográficas, assegurando biodiversidade, disponibilidade hídrica e segurança ambiental (Das, 2025; Rose et al., 2025).

Além dos desafios ecológicos e microbiológicos, a proteção dos mananciais também depende da estrutura institucional responsável por gerir os recursos hídricos no Brasil. O Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), criado pela Lei nº 9.433/1997, Lei das Águas, integra diferentes esferas governamentais e os comitês de bacia para planejar, monitorar e regular os recursos hídricos. Esse modelo descentralizado possibilita organizar ações de conservação, enquadramento dos corpos d'água e controle de usos, fortalecendo a proteção da qualidade dos mananciais e a gestão sustentável das bacias hidrográficas (Brasil, 2020).

3.4. Microbiologia zoonótica e a interface animal

O uso intensivo de antibióticos na pecuária e na avicultura constitui um ponto crítico de interação entre saúde animal, humana e ambiental. Esses fármacos, empregados para tratamento, prevenção e promoção de crescimento, são majoritariamente excretados na forma ativa. Quando dejetos e águas residuais são utilizados como fertilizantes, resíduos de antimicrobianos, bactérias resistentes e genes de resistência alcançam o solo e os corpos d'água, ampliando sua dispersão no ambiente (Zhang et al., 2022; Leonard et al., 2022).

Nesse contexto, microrganismos resistentes podem ser transferidos aos humanos por múltiplas vias, incluindo alimentos contaminados, contato direto com animais tratados, manejo inadequado de resíduos e escoamento superficial após chuvas (Karesh et al., 2012). Embora o uso terapêutico de antibióticos na produção animal seja indispensável, seus efeitos cumulativos sobre o ambiente e sobre a resistência antimicrobiana exigem atenção constante. A persistência desses compostos reforça a necessidade de políticas mais rígidas e estratégias que conciliem eficiência produtiva com a proteção da saúde humana e ambiental (Zhang et al., 2022).

Dessa forma, a Saúde Única responde à pergunta desta pesquisa ao propor que a vigilância da água comece na origem. Ao integrar o cuidado com a saúde animal e a gestão de resíduos, torna-se possível barrar patógenos e genes de resistência antes que alcancem os mananciais. Essa visão integrada protege a saúde pública de forma mais eficaz do que depender apenas do tratamento da água no final do processo.

3.5. Estudos de caso em microbiologia hídrica

Surtos de doenças de transmissão hídrica continuam sendo registrados em diversos países, apesar dos avanços em saneamento e tratamento de água, evidenciando a necessidade de vigilância contínua (Afonso et al., 2025). Casos de gastroenterite por norovírus foram documentados na Índia e na Itália entre 2021 e 2022, vinculados ao consumo de água contaminada e controlados por medidas emergenciais como





supercloração e fervura (Rajeevan et al., 2024; Arnaboldi et al., 2024). Na Índia, episódios de cólera também foram associados ao uso doméstico de água de lago contaminado por dejetos humanos devido à falta de saneamento básico (Roy, Mondal & Indwar, 2024). Em ambientes hospitalares, os riscos persistem, como demonstrado por um surto de *Pseudomonas aeruginosa* resistente a carbapenêmicos em pias contaminadas de um hospital na Holanda (Debast et al., 2025).

Eventos climáticos extremos ampliam ainda mais esse risco. As enchentes em Kerala, Índia, e no Rio Grande do Sul, Brasil, favoreceram a disseminação de agentes como *Leptospira* spp., *Giardia* spp., *Salmonella* spp. e *Enterobacteriaceae* resistentes, impulsionados pelo contato com águas contaminadas e pelo escoamento de resíduos humanos e animais (Ifejube et al., 2024; Hernandez et al., 2025). Esses cenários mostram que a segurança hídrica depende de uma compreensão integrada da relação entre humanos, animais e ambiente, influenciada por fatores como mudanças climáticas, práticas agropecuárias e infraestrutura urbana. Tais elementos reforçam o enfoque de Saúde Única, que exige a integração de dados ecológicos, veterinários e de saúde pública para prevenir e mitigar surtos relacionados à água (Azevedo et al., 2025; Hernandez et al., 2025).

3.6. Desafios e perspectivas futuras: a nova geração da vigilância microbiológica

A crescente pressão sobre os recursos hídricos e as limitações no acesso à água de qualidade reforçam a necessidade de métodos mais eficientes para o tratamento e monitoramento de contaminantes (Kianfar, 2025). Mesmo com avanços em desinfecção e purificação, surtos contínuos e o surgimento de novos patógenos evidenciam que a vigilância tradicional não é mais suficiente, persistindo lacunas sobre rotas de contaminação e mecanismos de sobrevivência microbiana (Iyer et al., 2025; Afonso et al., 2025). Nesse contexto, abordagens modernas como metagenômica, avaliação quantitativa de risco microbiológico e sequenciamento de nova geração (NGS) ampliam a capacidade de caracterização dos microbiomas aquáticos e revelam uma diversidade microbiana antes inacessível (Iyer et al., 2025).

Ferramentas moleculares, como PCR (Reação em Cadeia da Polimerase), qPCR (PCR quantitativa), NGS e biossensores, aumentam a sensibilidade e a rapidez na detecção de patógenos, superando limitações dos métodos baseados em cultivo. A integração desses dados com algoritmos de aprendizado de máquina aprimora a análise de padrões microbianos e fortalece ações de controle (Iyer et al., 2025). Entre as inovações emergentes, destaca-se a epidemiologia baseada em esgoto (EBE), que transforma sistemas de saneamento em plataformas de vigilância populacional. A análise de águas residuais permite identificar biomarcadores relacionados a infecções e resistência a antimicrobianos (Talleb et al., 2025). Durante a pandemia de COVID-19, a EBE demonstrou capacidade de detectar o SARS-CoV-2 mesmo em incidências muito baixas e antecipar aumentos de transmissão antes da vigilância clínica, já que o vírus é excretado antes do início dos sintomas (Oh et al., 2022).

Assim, a vigilância microbiológica caminha para um modelo integrado e preditivo, em que a combinação entre metagenômica, NGS e EBE possibilita detectar ameaças de forma mais precoce e abrangente. Essa mudança é essencial para proteger a saúde pública diante da escassez hídrica, das mudanças ambientais e da crescente complexidade dos patógenos (Afonso et al., 2025; Kianfar, 2025; Iyer et al., 2025).





Conclusão

Este capítulo demonstrou que a segurança hídrica exige uma visão integrada, superando as limitações dos indicadores fecais clássicos que falham em detectar a maioria das bactérias e patógenos emergentes. Os objetivos foram atingidos ao evidenciar que a qualidade da água é indissociável da saúde dos mananciais e do manejo da agropecuária, fontes críticas de patógenos zoonóticos e resistência antimicrobiana. Respondendo à pergunta de pesquisa, a abordagem de Saúde Única permite estruturar uma vigilância preditiva ao unificar os domínios humano, animal e ambiental na gestão da água.

Os resultados reforçam a relevância do tema diante da persistência de surtos e da necessidade de tecnologias como o sequenciamento de nova geração (NGS) e a epidemiologia baseada em esgoto para detectar riscos precocemente. Como limitações, apontam-se as lacunas sobre rotas específicas de contaminação e os mecanismos de sobrevivência microbiana em ecossistemas degradados. Conclui-se que a proteção efetiva da saúde pública depende de políticas sustentáveis e inovação científica integrada.





REFERÊNCIAS

AFONSO, Ana et al. Current microbiological challenges in drinking water. *Journal of Water Process Engineering*, Oxford, v. 72, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.107614>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714425006865>. Acesso em: 20 nov. 2025.

ARNABOLDI, Sara et al. Contamination source identification for the prompt management of a gastroenteritis outbreak caused by norovirus in drinking water in Northern Italy. *Heliyon*, Amsterdam, v. 10, n. 12, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32767>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S240584402408798X?via%3Dihub>. Acesso em: 20 nov. 2025.

AZEVEDO, Maria Isabel Nogueira Di; LILENBAUM, Walter. Ecological range and host–biome associations of pathogenic *Leptospira* in Brazil: A One Health perspective from a tropical area. *Acta Tropica*, Amsterdam, v. 271, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2025.107895>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001706X2500364X?via%3Dihub>. Acesso em: 20 nov. 2025.

BOAS, Danilo Moreira Vilas et al. Incidence of *Escherichia coli* in drinking water: A comparative study of indoor and outdoor sources over four years across Bahia, Brazil. *Hygiene and Environmental Health Advances*, Amsterdam, v. 15, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heha.2025.100121>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2773049225000042?via%3Dihub>. Acesso em: 20 nov. 2025.

BOCHYNSKA, Stefania et al. The impact of water pollution on the health of older people. *Maturitas*, Clare, v. 185, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2024.107981>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378512224000768?via%3Dihub>. Acesso em: 20 nov. 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Enquadramento dos corpos d'água em classes. Brasília, DF: ANA, 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Situação Epidemiológica — Doenças de Transmissão Hídrica e Alimentar (DTHA). Brasília, DF, 2025.

DAS, Abhijeet. Evaluation and prediction of surface water quality status for drinking purposes using an integrated water quality indices, GIS approaches, and machine learning techniques. *Desalination and Water Treatment*, Amsterdã, v. 323, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2025.101350>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1944398625003662?via%3Dihub>. Acesso em: 20 nov. 2025.





DEBAST, Sylvia et al. Aquatic reservoir-associated outbreaks of multi-drug-resistant bacteria: a hospital outbreak report of *Pseudomonas aeruginosa* in perspective from the Dutch national surveillance databases. *Journal of Hospital Infection*, Londres, v. 162, p. 310-318, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2025.05.024>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0195670125001744?via%3Dihub>. Acesso em: 20 nov. 2025.

HERNANDEZ, Christopher et al. Leptospirosis? An epidemiologic investigation following the historic 2024 floods in Rio Grande do Sul, Brazil. *One Health*, Amsterdã, v. 21, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2025.101146>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235277142500182X?via%3Dihub>. Acesso em: 21 nov. 2025.

IFEJUBE, Oludayo et al. Analysing the outbreaks of leptospirosis after floods in Kerala, India. *International Journal of Health Geographics*, Londres, v. 23, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12942-024-00372-9>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s12942-024-00372-9>. Acesso em: 21 nov. 2025.

IYER, Venkatesh Anand; DAHIYA, Praveen; KUMAR, Dharmender. Advancements in human health risk, detection and bioremediation of bacterial contaminants in water: A review. *Physics and Chemistry of the Earth*, Oxford, v. 140, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2025.103990>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474706525001408?via%3Dihub>. Acesso em: 21 nov. 2025.

KARESH, William et al. Ecology of zoonoses: natural and unnatural histories. *The Lancet*, Londres, v. 380, n. 9857, p. 1936-1945, 2012. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)61678-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61678-X). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014067361261678X?via%3Dihub>. Acesso em: 21 nov. 2025.

KIANFAR, Ehsan. An overview of water and environmental pollutants and hospital wastes. *Intelligent Hospital*, Amsterdã, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.inhs.2025.100032>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S3050837125000323>. Acesso em: 21 nov. 2025.

LEONARD, Anne et al. Natural recreational waters and the risk that exposure to antibiotic resistant bacteria poses to human health. *Current Opinion in Microbiology*, Oxford, v. 65, p. 40-46, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mib.2021.10.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369527421001405?via%3Dihub>. Acesso em: 22 nov. 2025.

OH, Chamteut et al. Application of neighborhood-scale wastewater-based epidemiology in low COVID-19 incidence situations. *Science of The Total Environment*, Amsterdã, v. 852, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158448>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722055474?via%3Dihub>. Acesso em: 22 nov. 2025.

RAJEEVAN, Amjith et al. Norovirus outbreaks due to contaminated drinking water and probable person-to-person transmission, Kerala, India, 2021. *Journal of Infection and Public Health*, Amsterdã, v. 17, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2024.102568>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876034124003022>. Acesso em: 22 nov. 2025.





ROSE, Joan B.; ÖRMECI, Banu; AW, Tiong Gim. Water Quality and Health: An Ecological Perspective. *Water & Ecology*, Amsterdã, v. 1, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wateco.2025.100007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S3050472425000073>. Acesso em: 22 nov. 2025.

ROY, Dhiraj; MONDAL, Tanima Roy; INDWAR, Pallavi. Outbreak of cholera due to contaminated pond water utilisation in a rural area of West Bengal, India, 2021. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, Jena, v. 261, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2024.114409>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1438463924000907?via%3Dihub>. Acesso em: 23 nov. 2025.

SILVA, Milena Roberta Freire da et al. Hidden ecotoxicological dangers: Investigating pathogen circulation and non-toxic risks hazards in a crucial brazilian watershed. *Aquatic Toxicology*, Amsterdã, v. 271, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2024.106931>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166445X24001012>. Acesso em: 23 nov. 2025.

SINGH, Amit et al. Exploring spatiotemporal water quality change of eutrophicated urban lake. *Sustainable Chemistry One World*, [S. l.], v. 8, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scowo.2025.100126>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2950357425000836>. Acesso em: 23 nov. 2025.

TALLEB, Yassine et al. Socio-spatial characterization of sub-sewersheds for wastewater-based epidemiology (WBE): Developing and evaluating two estimators for population-related variables. *Spatial and Spatio-temporal Epidemiology*, Amsterdã, v. 55, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sste.2025.100759>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877584525000504?via%3Dihub>. Acesso em: 23 nov. 2025.

TORTORA, Gerard J.; FUNKE, Berdell R.; CASE, Christine L. *Microbiologia*. 12. ed. Artmed, 2017.

TUFAIL, Muhammad et al. Community perceptions of potable water quality and public health implications in flood-affected areas of Nowshera District, Pakistan. *World Development Perspectives*, Amsterdã, v. 38, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wdp.2025.100679>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452292925000244>. Acesso em: 23 nov. 2025.

VERAS, Carlos Eduardo et al. Seasonal total coliform dynamics in a drinking water reservoir. *Water Research*, Oxford, v. 284, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2025.123850>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135425007584?via%3Dihub>. Acesso em: 23 nov. 2025.

WANG, Fang et al. Emerging contaminants: A One Health perspective. *The Innovation*, Cambridge, v. 5, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2024.100612>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266667582400050X?via%3Dihub>. Acesso em: 23 nov. 2025.





WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Guidelines for Drinking-water Quality: Fourth Edition Incorporating the First Addendum. Geneva: WHO, 2017.

ZHANG, Keqiang et al. An exhaustive investigation on antibiotics contamination from livestock farms within sensitive reservoir water area: Spatial density, source apportionment and risk assessment. *Science of The Total Environment*, Amsterdã, v. 847, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157688>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722047878>. Acesso em: 23 nov. 2025.



Benefícios de proteínas alternativas para a saúde humana

Julie Suzan da Silva
Mestranda em Engenharia de Alimentos
Universidade Estadual de Maringá - UEM
E-mail: juliesuzan33@gmail.com

RESUMO

A transição dos sistemas alimentares globais têm impulsionado a busca por proteínas alternativas que sejam sustentáveis e nutricionalmente adequadas. Este capítulo tem como objetivo explorar as evidências atuais e emergentes sobre os benefícios à saúde de diferentes classes de proteínas alternativas. Este capítulo analisa as evidências científicas sobre os benefícios à saúde humana de fontes proteicas não convencionais, incluindo leguminosas, microalgas, macroalgas e insetos comestíveis. A metodologia consistiu em uma revisão integrativa da literatura recente, focada em estudos que caracterizam o perfil nutricional, a digestibilidade e os efeitos fisiológicos destas fontes. As conclusões apontam que, embora existam desafios relacionados à biodisponibilidade e antinutrientes, o processamento adequado pode desbloquear funcionalidades superiores às das proteínas animais, como atividades antioxidantes, anti-hipertensivas e de modulação da microbiota intestinal, tornando-as componentes vitais para dietas futuras saudáveis.

Palavras-chave: Proteínas vegetais; Microalgas; Insetos comestíveis; Compostos bioativos; Nutrição sustentável.

ABSTRACT

The transition of global food systems has driven the search for alternative proteins that are both sustainable and nutritionally adequate. This chapter aims to explore current and emerging evidence regarding the health benefits of various classes of alternative proteins. It analyzes scientific evidence on the human health benefits of unconventional protein sources, including legumes, microalgae, macroalgae, and edible insects. The methodology consisted of an integrative review of recent literature, focusing on studies that characterize the nutritional profile, digestibility, and physiological effects of these sources. The findings indicate that, despite challenges related to bioavailability and antinutrients, proper processing can unlock functionalities superior to those of animal proteins—such as antioxidant, antihypertensive, and gut microbiota modulation activities—making them vital components for healthy future diets.

Keywords: Plant-based proteins; Microalgae; Edible insects; Bioactive compounds; Sustainable nutrition.





Introdução

É inegável que a sustentabilidade dos sistemas alimentares globais está sob pressão crítica. O crescimento populacional, somado aos limites ambientais intrínsecos da pecuária convencional — como o uso intensivo de terra, água e as altas emissões de gases de efeito estufa —, cria um cenário de urgência, especialmente quando projetamos o aumento na demanda mundial por proteínas. Nesse contexto, a adoção de dietas flexitarianas surge como uma estratégia chave para equilibrar a mitigação de impactos ambientais com a melhoria da saúde pública (Aiking; de Boer, 2020). Contudo, definir o que constitui uma dieta saudável e sustentável exige ir além do básico: é preciso uma compreensão detalhada das implicações nutricionais reais ao substituímos proteínas animais por fontes vegetais, fúngicas, de insetos ou algais, respeitando as complexidades do metabolismo humano (Green et al., 2022).

Do ponto de vista clínico, o consumo excessivo de proteínas animais — particularmente carnes vermelhas e processadas — mantém uma correlação bem estabelecida com o aumento do risco de Doenças Crônicas Não Transmissíveis (DCNTs), incluindo diabetes tipo 2 e patologias cardiovasculares. A transição para fontes alternativas oferece vantagens claras, como a redução da ingestão de gorduras saturadas e o aporte de compostos bioativos e fibras. O desafio, no entanto, reside em garantir que esses novos produtos não sejam apenas mimetizações sensoriais de carne; eles precisam entregar densidade nutricional equivalente ou superior. Embora ricas em fitoquímicos protetores, muitas proteínas alternativas esbarram em limitações de digestibilidade e na biodisponibilidade de micronutrientes como ferro e zinco, muitas vezes prejudicada pela presença de fatores antinutricionais (Moura et al., 2023).

Para superar essas barreiras, a inovação em processos de extração e formulação torna-se indispensável. Tecnologias emergentes, a exemplo da fermentação de precisão e cultura celular, estão ampliando nossa capacidade de desenhar proteínas com perfis nutricionais otimizados. O objetivo deste capítulo é justamente explorar as evidências atuais sobre os benefícios dessas diferentes classes de proteínas alternativas, investigando seus mecanismos de ação biológica e como o processamento impacta sua funcionalidade. A discussão abordará desde a bioatividade de peptídeos e a modulação da microbiota intestinal até os efeitos concretos sobre marcadores de risco metabólico (Grossmann; McClements, 2023).

2. Tópicos sobre o tema

2.1 Leguminosas: Perfil Nutricional, Funcionalidade e Saúde Metabólica

No vasto campo das proteínas alternativas, as leguminosas ocupam, sem dúvida, a posição mais consolidada. O grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) ilustra bem isso: seu valor não reside apenas na alta carga proteica, mas no equilíbrio de aminoácidos essenciais combinado a um baixo índice glicêmico — uma dupla fundamental para quem busca controle glicêmico pós-prandial. Quando olhamos para a tecnologia de alimentos, o concentrado proteico desse grão tem mostrado propriedades de emulsificação e retenção de água que facilitam muito a formulação de novos produtos. Nutricionalmente, excetuando-se os aminoácidos sulfurados (facilmente corrigidos com cereais), ele atende bem às demandas de adultos. E não podemos ignorar as fibras: tanto as solúveis quanto as insolúveis desempenham um papel chave na saciedade, tornando o grão-de-bico um aliado estratégico no manejo da síndrome metabólica (Zhang et al., 2022; Zhang et al., 2024).

O tremço (*Lupinus spp.*) é outro candidato que merece atenção. Suas congulinas (especialmente a gama) demonstram uma bioatividade tão específica que chegam a atuar como miméticos de insulina em modelos





experimentais, favorecendo a homeostase da glicose. Há também a questão vascular: a riqueza em arginina, precursora do óxido nítrico, confere a essa leguminosa um potencial vasodilatador interessante para o controle da pressão arterial. O grande desafio aqui é tecnológico: o processamento precisa ser sofisticado o suficiente para remover alcaloides e antinutrientes sem destruir essas proteínas bioativas (Chukwuejim et al., 2024).

2.2 Microalgas e Macroalgas: Além das Proteínas, uma Matriz de Bioativos

Embora historicamente subutilizadas no Ocidente, as algas oferecem uma qualidade proteica que, em muitos casos, rivaliza com a animal. Macroalgas vermelhas como Nori (*Porphyra sp.*) e Dulce (*Palmaria palmata*) apresentam um perfil de aminoácidos comparável à ovalbumina. O que torna as algas únicas, porém, é a presença de taurina livre, um composto ausente em plantas terrestres e vital para a saúde cardiovascular e neurológica. A barreira da digestibilidade — causada pelas paredes celulares complexas — vem sendo superada com processamento adequado, tornando essa fonte nutricionalmente viável (Rawiwan et al., 2022).

Já as microalgas (*Spirulina*, *Chlorella*) devem ser vistas menos como comida e mais como ingredientes funcionais potentes. Com até 70% de proteína em peso seco, elas são verdadeiros pacotes bioativos, carregando antioxidantes como a ficocianina e ácidos graxos ômega-3 (EPA/DHA). As evidências apontam que seu consumo regular não apenas nutre, mas modula a microbiota e protege a função hepática, sugerindo um papel preventivo contra doenças como a esteatose hepática não alcoólica (Eilam et al., 2023).

2.3 Insetos Comestíveis: Sustentabilidade, Densidade de Nutrientes e Saúde Intestinal

A entomofagia é, talvez, a solução mais racional do ponto de vista de sustentabilidade e densidade nutricional, embora enfrente barreiras culturais severas. Insetos como grilos e larvas de tenébrio entregam um pacote completo: todos os aminoácidos essenciais mais micronutrientes críticos como ferro, zinco e B12, muitas vezes escassos em dietas *plant-based*. Revisões sistemáticas reforçam que eles combatem a desnutrição com uma pegada ecológica mínima. Um dado fascinante é o papel da quitina (o exoesqueleto), que parece funcionar como fibra prebiótica, favorecendo a saúde intestinal. Para o consumidor ocidental, no entanto, a aceitação provavelmente virá pela invisibilidade: o uso de farinhas e isolados em produtos familiares, mascarando a origem mas mantendo o benefício (Ros-Baró et al., 2022).

2.4 Micoproteínas e Fungos: Textura, Saciedade e Saúde Metabólica

Derivadas da fermentação de fungos como *Fusarium venenatum*, as micoproteínas possuem uma vantagem tátil imediata: sua fibrosidade natural imita a carne. Mas o benefício vai além da textura. A presença significativa de beta-glucanas e quitina tem mostrado, em ensaios clínicos, um poder de saciedade superior ao da proteína de frango, além de promover uma resposta insulínica mais estável. Por serem produzidas em fermentadores — economizando vastas quantidades de terra e água —, as micoproteínas alinham, de forma muito eficaz, a saúde metabólica com a responsabilidade ambiental (Coelho et al., 2020).





2.5 Desafios de Solubilidade, Digestibilidade e Processamento Tecnológico

Não obstante o potencial nutricional, a aplicação industrial dessas proteínas esbarra em sua complexidade molecular. Muitas vezes, elas apresentam baixa solubilidade ou sofrem agregação indesejada sob calor, o que "esconde" os aminoácidos das enzimas digestivas. A ciência de alimentos tem respondido com um arsenal de métodos — do ultrassom e alta pressão à fermentação e glicação controlada. O sucesso dessas tecnologias em melhorar a funcionalidade e a digestibilidade será o fiel da balança para que essas alternativas possam, de fato, competir com a qualidade das proteínas animais (Grossmann; McClements, 2023).

3. Metodologia

Foi realizada uma revisão integrativa nas bases de dados PubMed, Periódicos Capes, Scopus e Web of Science, utilizando uma combinação de descritores booleanos: “*alternative protein*” OR “*plant protein*” OR “*insect protein*” OR “*algae protein*” AND “*health benefits*” OR “*human nutrition*” OR “*digestibility*” OR “*bioactivity*”. Foram incluídos artigos originais e de revisão publicados entre janeiro de 2015 e dezembro de 2025, nos idiomas inglês e português. A seleção priorizou estudos de revisão sistemática, meta-análises, ensaios clínicos randomizados e estudos experimentais robustos de caracterização físico-química e nutricional, excluindo editoriais e resumos de congressos. A análise dos dados focou na extração de informações sobre composição nutricional, efeitos fisiológicos comprovados, mecanismos de ação e impacto do processamento.

4. Discussão / Desenvolvimento

Ao nos debruçarmos sobre as evidências, fica claro que as proteínas alternativas não são meras cópias vegetais da carne; elas são matrizes complexas de compostos bioativos. Fibras e fitoquímicos presentes nessas fontes oferecem proteção contra DCNTs, algo que a carne não faz. Entretanto, assumir uma equivalência direta é simplista. Estudos de metabolômica mostram que, mesmo com tabelas nutricionais parecidas, o impacto metabólico no sangue difere em até 90% quando comparamos carne e análogos vegetais. A matriz alimentar importa: fitatos em plantas, por exemplo, podem reduzir a absorção de zinco e ferro, exigindo estratégias de formulação inteligentes (Van Vliet et al., 2021).

O fator humano, contudo, continua sendo o gargalo. A neofobia e a estranheza sensorial, especialmente com insetos e algas, ainda freiam o consumo, mesmo com a motivação da saúde. A literatura sugere que a chave para a adoção é a conveniência e a familiaridade, apoiadas por educação e marketing honesto. Segmentar produtos para culturas específicas também facilita essa transição (Onwezen et al., 2021; Siddiqui et al., 2022).

Por fim, a segurança é inegociável. A introdução de novas espécies na dieta traz riscos reais de alergenicidade, como a reação cruzada inseto-crustáceo, e contaminação, metais em algas. Isso demanda uma vigilância regulatória estrita e transparência na rotulagem. O mercado segue aquecido, impulsionado pela biotecnologia, mas a sustentabilidade desse crescimento dependerá de equilibrar a inovação com a segurança e a acessibilidade do produto final (Otero et al., 2022; Ismail et al., 2020).





Considerações finais

As proteínas alternativas representam uma fronteira necessária para a nutrição moderna, oferecendo uma resposta pragmática aos desafios simultâneos de saúde pública e sustentabilidade. As evidências aqui discutidas confirmam que leguminosas, algas, fungos e insetos possuem matrizes ricas capazes de promover saúde metabólica. Contudo, a "naturalidade" da fonte não garante eficácia por si só; a biodisponibilidade real depende intrinsecamente de como processamos esses alimentos.

O futuro dessa área exige rigor: precisamos de definições regulatórias claras, controle toxicológico, especialmente para alergênicos e metais, e uma compreensão honesta das limitações nutricionais de cada fonte. A transição para uma dieta sustentável não se fará apenas com novas fontes, mas com a aplicação inteligente da tecnologia para garantir que esses alimentos sejam seguros, nutricionalmente densos e acessíveis à população global.





REFERÊNCIAS

AIKING, Harry; DE BOER, Joop. The next protein transition. *Trends in Food Science & Technology*, v. 105, p. 515–522, 2020. DOI: 10.1016/j.tifs.2018.07.008. Acesso em: 5 dez. 2025.

CHUKWUEJIM, Stanley et al. Lupin Seed Proteins: A Comprehensive Review of Composition, Extraction Technologies, Food Functionality, and Health Benefits. *Food Reviews International*, v. 40, n. 2, p. 691-714, 2024. DOI: 10.1080/87559129.2023.2191701. Acesso em: 5 dez. 2025.

COELHO, Michele et al. Mycoprotein as a healthy alternative to meat: A review. *Nutrition Reviews*, v. 78, n. 12, p. 1025–1034, 2020. DOI: 10.1093/nutrit/nuz077. Acesso em: 5 dez. 2025.

EILAM, Yahav et al. Microalgae—Sustainable Source for Alternative Proteins and Functional Ingredients Promoting Gut and Liver Health. *Global Challenges*, v. 7, n. 5, p. 2200177, 2023. DOI: 10.1002/gch2.202200177. Acesso em: 5 dez. 2025.

GREEN, Ashley et al. The role of alternative proteins and future foods in sustainable and contextually-adapted flexitarian diets. *Trends in Food Science & Technology*, v. 124, p. 250-258, 2022. DOI: 10.1016/j.tifs.2022.03.026. Acesso em: 12 dez. 2025.

GROSSMANN, Lutz; MCCLEMENTS, David Julian. Current insights into protein solubility: A review of its importance for alternative proteins. *Food Hydrocolloids*, v. 137, p. 108416, 2023. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2022.108416. Acesso em: 8 dez. 2025.

HEFFERON, Kathleen et al. Alternative protein innovations and challenges for industry and consumer: an initial overview. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, v. 7, p. 1038286, 2023. DOI: 10.3389/fsufs.2023.1038286. Acesso em: 8 dez. 2025.

ISMAIL, Pam et al. Protein demand: Review of plant and animal proteins used in alternative protein product development and production. *Animal Frontiers*, v. 10, n. 4, p. 53–63, 2020. DOI: 10.1093/af/vfaa040. Acesso em: 12 dez. 2025.

JOSEPH, Poulson et al. Alternative Proteins: Market Research on Consumer Trends and Emerging Landscape. *Meat and Muscle Biology*, v. 4, n. 2, p. 1-11, 2020. DOI: 10.22175/mmb.11225. Acesso em: 12 dez. 2025.

MOURA, Marília Aparecida Fidelis et al. 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*, v. 63, n. 31, p. 10691-10708, 2023. DOI: 10.1080/10408398.2022.2085657. Acesso em: 5 dez. 2025.

ONWEZEN, Marleen et al. A systematic review on consumer acceptance of alternative proteins: Pulses, algae, insects, plant-based meat alternatives, and cultured meat. *Appetite*, v. 159, p. 105058, 2021. DOI: 10.1016/j.appet.2020.105058. Acesso em: 8 dez. 2025.





OTERO, Deborah Murowaniecki et al. Exploring alternative protein sources: Evidence from patents and articles focusing on food markets. *Food Chemistry*, v. 394, p. 133486, 2022. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.133486. Acesso em: 8 dez. 2025.

RAWIWAN, Pattarasuda; PENG, Yaoyao; PARAMAYUDA, I Gusta Putu Bayu; QUEK, Siew Young. Red seaweed: A promising alternative protein source for global food sustainability. *Trends in Food Science & Technology*, v. 123, p. 37-56, 2022. DOI: 10.1016/j.tifs.2022.03.003. Acesso em: 12 dez. 2025.

ROS-BARÓ, Marta et al. Edible Insect Consumption for Human and Planetary Health: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 19, n. 18, p. 11653, 2022. DOI: 10.3390/ijerph191811653. Acesso em: 5 dez. 2025.

SIDDIQUI, Shahida Anusha et al. Consumer Acceptance of Alternative Proteins: A Systematic Review of Current Alternative Protein Sources and Interventions Adapted to Increase Their Acceptability. *Sustainability*, v. 14, n. 22, p. 15370, 2022. DOI: 10.1016/j.appet.2020.105058. Acesso em: 8 dez. 2025.

THAVARAJAH, Dil et al. Organic dry pea (*Pisum sativum* L.): A sustainable alternative pulse-based protein for human health. *PLOS ONE*, v. 18, n. 4, p. e0284380, 2023. DOI: 10.1371/journal.pone.0284380. Acesso em: 8 dez. 2025.

VAN DER SPIEGEL, Marieke; NOORDAM, Marieke Y.; VAN DER FELS-KLERX, Hettie J. Safety of novel protein sources (insects, microalgae, seaweed, duckweed, and rapeseed) and legislative aspects for their application in food and feed production. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 12, n. 6, p. 662–678, 2013. DOI: 10.1111/1541-4337.12032. Acesso em: 8 dez. 2025.

VAN VLIET, Stephan et al. A metabolomics comparison of plant-based meat and grass-fed meat indicates large nutritional differences despite comparable Nutrition Facts panels. *Scientific Reports*, v. 11, n. 1, p. 13828, 2021. DOI: 10.1038/s41598-021-93100-3. Acesso em: 12 dez. 2025.

YAO, Yueying; HE, Wenmeng; CAI, Xifan; BEKHIT, Alaa El-Din Ahmed; XU, Baojun. Sensory, physicochemical and rheological properties of plant-based milk alternatives made from soybean, peanut, adlay, adzuki bean, oat and buckwheat. *International Journal of Food Science & Technology*, v. 57, n. 8, p. 4868-4878, 2022. DOI: 10.1111/ijfs.15814. Acesso em: 5 dez. 2025.

ZHANG, Xin et al. Legumes as an alternative protein source in plant-based foods: Applications, challenges, and strategies. *Current Research in Food Science*, v. 9, p. 100876, 2024. DOI: 10.1016/j.crfs.2024.100876. Acesso em: 12 dez. 2025.

ZHANG, Yue et al. Preparation, functional properties, and nutritional evaluation of chickpea protein concentrate. *Cereal Chemistry*, v. 99, n. 6, p. 1-12, 2022. DOI: 10.1002/cche.10608. Acesso em: 8 dez. 2025.



Avanços tecnológicos aplicados ao diagnóstico precoce do Câncer de Mama

Tainá Branganholi

Especialista em Imaginologia

UniCesumar - PPGPS - Programa de pós-graduação strictu sensu em Promoção da Saúde.

E-mail: taina_braganholi@hotmail.com

Fernanda Braghini

Mestra em Promoção da Saúde

Programa de pós-graduação strictu sensu em Promoção da Saúde -UniCesumar

E-mail institucional: ferbraghini17@gmail.com

Maria Ivone Moreira de Oliveira

Mestranda em Promoção da Saúde

Programa de pós-graduação strictu sensu em Promoção da Saúde -UniCesumar

E-mail: mivone.moreira01@gmail.com

Natália Santos Pretes

Doutoranda em Ciência de alimentos.

Universidade Estadual de Maringá -UEM

E-mail institucional: pg55783@uem.br

Pablo Ricardo Sanches de Oliveira

Doutorando em Ciência de Alimentos

Universidade Estadual de Maringá -UEM

E-mail: prsanchesoliveira@gmail.com

RESUMO

O câncer de mama é a neoplasia maligna mais incidente entre mulheres mundialmente, sendo a detecção precoce o fator determinante para a redução da mortalidade associada à metástase. Esta revisão investiga de que maneira a literatura científica recente descreve o papel das tecnologias emergentes de imagem na superação das limitações técnicas da mamografia convencional. O objetivo geral analisa o impacto dessas inovações no cenário diagnóstico atual, enquanto os objetivos específicos buscam examinar a eficácia da mamografia espectral com contraste (CESM), avaliar a contribuição da tomossíntese mamária digital (DBT), descrever a integração da inteligência artificial (IA) na triagem radiológica e verificar o suporte da ultrassonografia multimodal. Metodologicamente, trata-se de uma revisão narrativa de natureza descritiva e qualitativa, realizada por meio de busca exploratória em bases como *PubMed*, *SciELO* e *Web of Science*, com recorte temporal entre 2020 e 2025. O referencial teórico aborda as restrições da mamografia digital em mamas densas e o impacto do sobrediagnóstico no sistema de saúde. Os resultados indicam que a CESM apresenta desempenho comparável à ressonância magnética, a DBT reduz o mascaramento por sobreposição de tecidos e a IA eleva a taxa de detecção em 17,6%, otimizando o fluxo clínico. Conclui-se que a integração dessas ferramentas promove uma transição do modelo generalista para uma abordagem diagnóstica personalizada, precisa e centrada na paciente.

Palavras-chave: câncer de mama; diagnóstico precoce; diagnóstico por imagem; mamografia; tecnologias na saúde.





ABSTRACT

Breast cancer is the most incident malignant neoplasm among women worldwide, with early detection being the determining factor for reducing mortality associated with metastasis. This review investigates how recent scientific literature describes the role of emerging imaging technologies in overcoming the technical limitations of conventional mammography. The general objective analyzes the impact of these innovations in the current diagnostic scenario, while the specific objectives seek to examine the efficacy of Contrast-Enhanced Spectral Mammography (CESM), evaluate the contribution of Digital Breast Tomosynthesis (DBT), describe the integration of Artificial Intelligence (AI) in radiological screening, and verify the support of multimodal ultrasound. Methodologically, this is a descriptive and qualitative narrative review, conducted through exploratory searches in databases such as PubMed, SciELO, and Web of Science, covering the period between 2020 and 2025. The theoretical framework addresses the restrictions of digital mammography in dense breasts and the impact of overdiagnosis on the healthcare system. Results indicate that CESM presents diagnostic performance comparable to magnetic resonance imaging, DBT reduces masking caused by tissue overlap, and AI increases the cancer detection rate by 17.6%, optimizing clinical workflow. It is concluded that the integration of these tools promotes a transition from a generalist model to a personalized, precise, and patient-centered diagnostic approach.

Keywords: breast cancer; early diagnosis; diagnostic imaging; mammography; health technologies.

Introdução

O câncer de mama configura-se como a neoplasia maligna de maior incidência entre mulheres em nível mundial. Seu desenvolvimento está associado a fatores de risco modificáveis e não modificáveis. Entre os fatores passíveis de intervenção destacam-se a obesidade, o sedentarismo e a exposição a hormônios exógenos, enquanto a predisposição genética e o envelhecimento constituem fatores não modificáveis e inevitáveis. A progressão para a doença metastática representa o principal determinante da elevada mortalidade observada na maioria dos tipos de câncer. Embora a detecção precoce do câncer de mama, antes do estabelecimento de metástases, esteja diretamente relacionada ao aumento da sobrevida, uma parcela significativa dos casos ainda é diagnosticada apenas após a instalação do processo metastático (Katsura et al., 2022; Parque et al., 2022).

Segundo a publicação '*Controle do Câncer de Mama no Brasil: Dados e Números 2025*', lançada pelo Ministério da Saúde e pelo Instituto Nacional de Câncer (INCA), estima-se a ocorrência de setenta e três mil, seiscentos e dez novos casos da doença no país para o ano de dois mil e vinte e cinco. O relatório aponta que, em dois mil e vinte e três, houve mais de vinte mil óbitos, com maior incidência nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste, destacando-se Santa Catarina com a maior taxa ajustada. Apesar disso, observa-se uma tendência de redução da mortalidade na faixa etária de quarenta a quarenta e nove anos, o que reforça o papel do diagnóstico precoce. Em termos de rastreamento, o SUS realizou quatro milhões e quatrocentas mil mamografias em dois mil e vinte e quatro, focando majoritariamente no público prioritário de cinquenta a setenta e quatro anos (Brasil, 2025).

O desfecho clínico do câncer de mama está diretamente relacionado ao estágio da doença no momento do diagnóstico, o que torna o rastreamento precoce essencial para seu controle. A mamografia digital permanece como o principal método de rastreio populacional em razão de sua ampla disponibilidade, reprodutibilidade e custo acessível. Contudo, sua acurácia é reduzida em mulheres com mamas densas, devido à sobreposição de tecidos, o que pode resultar em falsos-positivos, biópsias desnecessárias ou





falhas diagnósticas. Diante dessas limitações, cresceu o interesse por métodos de imagem que integrem dados morfológicos e funcionais, com destaque para técnicas contrastadas, como a mamografia espectral com contraste (Acosta-Jiménez et al., 2025).

2. METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como uma revisão narrativa da literatura, de natureza descritiva e qualitativa, com o objetivo de discutir e contextualizar os avanços, limitações e perspectivas das tecnologias emergentes aplicadas ao diagnóstico por imagem do câncer de mama, com ênfase na mamografia espectral com contraste, tomossíntese mamária digital, inteligência artificial e ultrassonografia multimodal.

A seleção dos estudos não seguiu um protocolo rígido ou sistematizado, sendo conduzida de forma exploratória e interpretativa, característica das revisões narrativas. As buscas foram realizadas em bases de dados científicas amplamente reconhecidas, como *SciELO*, *PubMed*, *Web of Science*, *LILACS* e *Acervo Mais*, contemplando publicações científicas, revisões, documentos institucionais e relatórios técnicos publicados entre 2020 e 2025.

Foram priorizados trabalhos que abordassem diretamente o uso dessas tecnologias no rastreamento, diagnóstico e apoio à tomada de decisão clínica no câncer de mama, bem como estudos que discutissem aspectos técnicos, desempenho diagnóstico, limitações operacionais e implicações clínicas. A análise do material selecionado foi conduzida de forma crítica e qualitativa, buscando identificar convergências, lacunas e tendências na literatura, sem a intenção de esgotar o tema ou quantificar resultados.

Essa abordagem metodológica permite uma visão abrangente e contextualizada do cenário atual, favorecendo a integração de diferentes evidências e contribuindo para uma reflexão fundamentada sobre o papel dessas tecnologias no aprimoramento do diagnóstico do câncer de mama.

3. DISCUSSÃO

A mamografia é amplamente utilizada no rastreamento e diagnóstico precoce do câncer de mama, entretanto, Lee et. al. (2016) e Zhao et. al. (2015) destacam limitações relevantes na qualidade das imagens e identificação de achados mamográficos. Lee et al. (2016) apontam que, apesar de contribuir para a redução da mortalidade, a técnica apresenta taxas significativas de falsos-negativos, especialmente em exames que envolvem mamas densas e achados pequenos. De forma semelhante, Zhao et al. (2015) evidenciam que a sensibilidade da mamografia pode ser reduzida em tecidos mamários fibroglandulares, o que afeta a detecção de tumores pequenos e reduz sua efetividade no diagnóstico. Além disso, estudos como o de Song et al. (2019) sugerem que a variação na qualidade da interpretação radiológica e na padronização técnica do exame podem interferir na sua precisão diagnóstica, reforçando que sua acurácia depende tanto da tecnologia quanto da qualificação do profissional.

Outro ponto frequentemente discutido é o impacto dos resultados falso-positivos e do sobrediagnóstico. Hubbard et al. (2011) destacam que mulheres submetidas ao rastreamento mamográfico podem enfrentar investigações adicionais e procedimentos invasivos decorrentes de achados que não correspondem ao câncer, gerando ansiedade e custos desnecessários ao sistema de saúde. Ong & Mandl (2015)





complementam essa visão afirmando que a mamografia apresenta limitações também em termos de especificidade, o que contribui para o sobrediagnóstico e tratamento de tumores clinicamente benignos.

Assim, embora a mamografia permaneça como método central no rastreamento populacional, a literatura converge ao reconhecer suas restrições técnicas e epidemiológicas, evidenciando a necessidade de tecnologias complementares e abordagens mais individualizadas capazes de reduzir os resultados falso-positivos e falso-negativos, ampliando a precisão e o direcionamento diagnóstico. Diante desse cenário, este estudo evidencia sua análise para tecnologias emergentes, como a tomossíntese, a inteligência artificial e a mamografia espectral com contraste, que despontam como estratégias promissoras para aprimorar a sensibilidade, a especificidade e o desempenho no diagnóstico do câncer de mama.

3.1 Mamografia Espectral com Contraste (CESMS)

A mamografia espectral com contraste (CESM) consolidou-se como uma técnica complementar à mamografia convencional ao utilizar contraste iodado, possibilitando a identificação de áreas hipervasculares frequentemente associadas a lesões malignas. Estudos recentes apontam melhora na visualização das lesões e maior segurança diagnóstica com o uso da CESM, reforçando sua importância crescente. De forma semelhante, evidências acumuladas indicam que seu desempenho diagnóstico é comparável ao da ressonância magnética da mama, com sensibilidades similares e vantagens operacionais. Além disso, Acosta-Jiménez et al. (2025) sugerem que a CESM pode apresentar acurácia e especificidade ligeiramente superiores na avaliação de câncer de mama multifocal e multicêntrico.

Wong, Lee e Mahmood (2024) explicam que, mediante a modificação do equipamento de mamografia digital (FFDM), esta técnica utiliza raios X de alta e baixa energia para aproveitar as propriedades de atenuação do iodo. Segundo os autores, enquanto a aquisição de baixa energia preserva a qualidade diagnóstica da mamografia convencional, o pós-processamento realiza a subtração das estruturas de fundo, evidenciando as regiões contrastadas. O exame fornece, assim, um par de imagens (convencional e recombinada) para a interpretação integrada do radiologista.

Apesar dos benefícios, a mamografia espectral com contraste (CESM) depende da administração intravenosa de contraste iodado e da adoção de fluxos de trabalho específicos, fatores que podem restringir sua ampla implementação, especialmente em contextos com limitações de recursos. Ademais, o uso de contraste iodado está associado a riscos, como reações de hipersensibilidade e possíveis complicações renais, o que motivou a elaboração de diretrizes profissionais voltadas à adequada seleção e ao manejo dos pacientes (Acosta-Jiménez et al., 2025).

A capacidade da mamografia espectral com contraste (CESM) de superar as limitações da mamografia digital de campo total (FFDM) e da ultrassonografia (US) torna-se particularmente evidente em situações de discordância radiológica. Wong, Lee e Mahmood (2024) relatam o caso de uma paciente de 69 anos na qual achados suspeitos foram identificados incidentalmente em uma tomografia computadorizada (TC) de tórax. Embora os exames de FFDM e US não tenham demonstrado alterações significativas, a CESM mostrou-se decisiva ao detectar múltiplos focos de realce na mama esquerda. Esses achados foram posteriormente confirmados por ressonância magnética como Carcinoma Ductal *In Situ* (CDIS) de baixo grau. Além de evidenciar uma lesão previamente não detectada, a CESM contribuiu para a otimização do fluxo clínico, permitindo o planejamento da biópsia no mesmo dia da avaliação diagnóstica.

3.2 Inteligência Artificial

A integração da inteligência artificial (IA) no rastreamento mamográfico tem demonstrado ser um avanço transformador para a saúde, uma vez que o diagnóstico precoce pode reduzir esse índice em até vinte e dois por cento (22%) (Guerreiro et al., 2024).

De acordo com os resultados do estudo prospectivo de Eisemann et. al. (2025), a utilização da IA





proporcionou um aumento significativo de dezessete vírgula seis por cento (17,6%) na taxa de detecção de câncer em comparação com a leitura dupla humana padrão, alcançando seis vírgula sete (6,7) casos por mil mulheres, sem que isso resultasse em um aumento de alarmes falsos. Pelo contrário, observou-se uma redução de dois vírgula cinco por cento (2,5%) nas taxas de rechamada (reconvocação de pacientes) e uma melhoria no Valor Preditivo Positivo (VPP), o que refina o diagnóstico e minimiza a ansiedade das pacientes e os custos do sistema de saúde ao evitar procedimentos invasivos desnecessários.

Esses benefícios são sustentados por recursos tecnológicos como a "Rede de Segurança" (*Safety Net*), que alerta o radiologista sobre lesões suspeitas inicialmente ignoradas permitindo diagnosticar cânceres que, de outra forma, seriam perdidos. Além disso, destacam-se também os algoritmos de *deep learning*, capazes de identificar padrões radiológicos sutis, como microcalcificações e nódulos de difícil visualização.

Além do ganho clínico, a tecnologia atua na otimização da carga de trabalho, reduzindo em quarenta e três por cento (43%) o tempo gasto na interpretação de exames triados como normais e auxiliando na precisão diagnóstica em cenários complexos, como em tecidos mamários densos onde a sensibilidade humana pode ser limitada. No contexto brasileiro, Guerreiro et al. (2024) ressaltam que o auxílio da IA é visto como uma oportunidade para reduzir desigualdades regionais no acesso ao rastreamento qualificado, ampliando o alcance do diagnóstico precoce em áreas com escassez de especialistas.

Um estudo recente realizado no Instituto Acadêmico de Saúde em Singapura demonstrou a percepção de radiologistas sobre a integração da inteligência artificial (IA) no rastreamento mamográfico revelou que esses profissionais reconhecem a IA como uma ferramenta promissora de apoio à interpretação das imagens, sobretudo para auxiliar em tarefas repetitivas e reduzir a carga de trabalho. De modo geral, a IA é vista como complementar, e não substitutiva, ao julgamento clínico humano, especialmente em casos mais complexos. Os radiologistas demonstraram maior confiança em sistemas de IA quando estes são validados com dados representativos da população local e acompanhados por diretrizes regulatórias bem definidas (GOH et al., 2025)..

Goh et al. (2025) e Trindade et al. (2025) destacam que, apesar do reconhecimento dos benefícios da inteligência artificial no rastreamento do câncer de mama, existem desafios relevantes relacionados à ocorrência de falsos positivos, à integração aos fluxos de trabalho, às implicações legais e à necessidade de capacitação profissional. Segundo esses autores, embora a IA possa aumentar a sensibilidade e a especificidade dos exames e reduzir erros perceptivos, sua implementação deve ocorrer de forma ética, transparente e clinicamente validada, atuando como uma ferramenta complementar de “segunda leitura”, sem substituir o julgamento clínico do radiologista. Nesse contexto, evidencia-se que a adoção segura e eficaz da IA depende não apenas do desempenho tecnológico, mas também do alinhamento com a prática radiológica e de diretrizes regulatórias bem estabelecidas.

Dessa forma, a literatura converge ao indicar que a IA deve ser incorporada como ferramenta de apoio à decisão clínica, atuando como uma “segunda leitura” qualificada, sem substituir o julgamento do radiologista, desde que integrada de forma ética, transparente e respaldada por validação clínica e diretrizes regulatórias consistentes.

3.3 Tomossíntese Mamária

Kulkarni, Freitas e Muradali (2022) observam que, embora a mamografia 2D permaneça como padrão-ouro no rastreamento, suas restrições em mamas densas e a elevada taxa de falsos-positivos são amplamente documentadas, razão pela qual destacam a consolidação da Tomossíntese Mamária Digital (DBT) na rotina clínica como ferramenta capaz de mitigar tais barreiras.





Sob uma perspectiva técnica, Sechopoulos, Teuwen e Mann (2021) esclarecem que, sendo uma técnica pseudo-tomográfica, a DBT cria uma pilha de cortes 2D com certa resolução vertical. Segundo eles, esse recurso reduz o efeito de mascaramento provocado pela sobreposição de tecidos, permitindo uma análise mais detalhada da anatomia mamária.

De acordo com a revisão realizada por Sechopoulos, Teuwen e Mann (2021), os dados indicam que a técnica de tomossíntese não apenas melhora a detecção de cânceres ocultos, mas também otimiza a caracterização de lesões benignas e malignas. Os autores ressaltam que, para garantir esses benefícios e evitar diagnósticos equivocados, torna-se imprescindível que os profissionais de imagem compreendam profundamente os aspectos de aquisição e a semiologia radiológica específica desta tecnologia.

Firuzpour et al. (2025) e Pal, Das e Pandey (2024) ilustram como as novas tecnologias estão transformando o paradigma do diagnóstico do câncer de mama por meio da análise de imagens. Nesses estudos foram demonstrados que a sinergia entre o aprendizado dessas técnicas e a genômica permite não apenas detectar o câncer em estágios iniciais, mas também caracterizar visualmente sua agressividade e potencial de resposta ao tratamento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A incorporação de tecnologias emergentes ao rastreamento e diagnóstico do câncer de mama representa um avanço estratégico capaz de superar limitações significativamente documentadas da mamografia convencional. A tomossíntese mamária, a mamografia espectral com contraste e os sistemas de inteligência artificial têm demonstrado ganhos clínicos relevantes, incluindo maior sensibilidade em mamas densas, melhor caracterização de lesões suspeitas, redução de reconvocações desnecessárias e maior assertividade na tomada de decisão diagnóstica. Esses benefícios não apenas elevam o desempenho diagnóstico, como também reduzem a ocorrência de falsos-positivos e falsos-negativos, diminuem procedimentos invasivos dispensáveis e mitigam consequências psicológicas e financeiras para as pacientes e para o sistema de saúde.

Essas novas tecnologias estão transformando o paradigma do diagnóstico do câncer de mama, movendo-o de uma abordagem generalista para uma estratégia personalizada e de alta precisão, eles argumentam que a sinergia entre o aprendizado dessas técnicas permitem não apenas detectar o câncer em estágios iniciais, mas também caracterizar sua agressividade e potencial de resposta ao tratamento.

Ao ampliar a capacidade de detecção precoce e promover análises mais refinadas, essas tecnologias fortalecem o rastreamento populacional e favorecem abordagens mais individualizadas, especialmente em cenários clínicos complexos. Dessa forma, sua integração gradual à prática assistencial não deve ser vista como substitutiva, mas como complementar e necessária para modernizar o cuidado em saúde da mama e otimizar resultados clínicos. A tendência apontada pela literatura sinaliza um movimento consistente em direção a modelos diagnósticos mais inteligentes, precisos e centrados no paciente, consolidando as novas tecnologias como ferramentas-chave para o futuro do rastreamento do câncer de mama.





REFERÊNCIAS

ACOSTA-JIMÉNEZ, Samara et al. Explainable deep learning for breast lesion classification in digital and contrast-enhanced mammography. *Diagnostics*, v. 15, n. 24, p. 3143, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-4418/15/24/3143>. Acesso em: 02 jan. 2026.

BRASIL. Ministério da Saúde. Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva (INCA). Ministério da Saúde e INCA apresentam publicação com dados atualizados sobre câncer de mama no Brasil. Brasília, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/noticias/2025/outubro/ministerio-da-saude-e-inca-apresentam-publicacao-com-dados-atualizados-sobre-cancer-de-mama-no-brasil>. Acesso em: 02 jan. 2026.

EISEMANN, Nora et al. Nationwide real-world implementation of AI for cancer detection in population-based mammography screening. *Nature Medicine*, v. 31, n. 3, p. 917–924, 2025. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11922743/>. Acesso em: 03 jan. 2026.

FIRUZPOUR, Faezeh et al. The role of artificial intelligence in enhancing breast cancer screening and diagnosis: A review of current advances. *BioImpacts*, v. 15, p. 30984, 2025. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/41322389/>. Acesso em: 02 jan. 2026.

GOH, Sereno Si Ning et al. Radiologists' Perspectives on AI Integration in Mammographic Breast Cancer Screening: A Mixed Methods Study. *Cancers*, v. 17, n. 21, p. 3491, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-6694/17/21/3491>. Acesso em: 02 jan. 2026.

GUERREIRO, Aline Angélica Peres et al. Integrando inteligência artificial à mamografia: uma abordagem complementar no diagnóstico do câncer de mama. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, v. 10, n. 5, p. 479–485, 2024. DOI: <https://doi.org/10.51891/rease.v10i5.13684>. Acesso em: 03 jan. 2026.

HUBBARD, Rebecca A. et al. Cumulative probability of false-positive recall or biopsy recommendation after 10 years of screening mammography: a cohort study. *Annals of Internal Medicine*, v. 155, n. 8, p. 481–492, 2011. Disponível em: <https://www.acpjournals.org/doi/abs/10.7326/0003-4819-155-8-201110180-00004>. Acesso em: 05 jan. 2026.

KATSURA, Chie et al. Breast cancer: presentation, investigation and management. *British Journal of Hospital Medicine*, v. 83, n. 2, p. 1–7, 2022. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35243878/>. Acesso em: 04 jan. 2026.

KULKARNI, Supriya; FREITAS, V.; MURADALI, D. Digital Breast Tomosynthesis: Potential Benefits in Routine Clinical Practice. *Canadian Association of Radiologists Journal*, v. 73, n. 1, p. 107–120, 2022. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/08465371211025229>. Acesso em: 04 jan. 2026.





LEE, Kunsei et al. Retrospective observation on contribution and limitations of screening for breast cancer with mammography in Korea: detection rate of breast cancer and incidence rate of interval cancer of the breast. *BMC Women's Health*, v. 16, n. 1, p. 72, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s12905-016-0351-1>. Acesso em: 04 jan. 2026.

ONG, Mei-Sing; MANDL, Kenneth D. National expenditure for false-positive mammograms and breast cancer overdiagnoses estimated at \$4 billion a year. *Health Affairs*, v. 34, n. 4, p. 576–583, 2015. Disponível em: <https://www.healthaffairs.org/doi/abs/10.1377/hlthaff.2014.1087>. Acesso em: 05 jan. 2026.

PAL, Manjusha; DAS, Doutrina.; PANDEY, Manoj. Understanding genetic variations associated with familial breast cancer. *World Journal of Surgical Oncology*, v. 22, n. 1, p. 271, 2024. Disponível em: <https://wjso.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12957-024-03553-9>. Acesso em: 04 jan. 2026.

PARK, Misung et al. Breast Cancer Metastasis: Mechanisms and Therapeutic Implications. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 23, n. 12, p. 6806, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/23/12/6806>. Acesso em: 05 jan. 2026.

SECHOPOULOS, Ioannis.; TEUWEN, Jonas; MANN, Ritse. Artificial intelligence for breast cancer detection in mammography and digital breast tomosynthesis: State of the art. *Seminars in Cancer Biology*, v. 72, p. 214–225, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1044579X20301358>. Acesso em: 04 jan. 2026.

SONG, Soo Yeon et al. Comparison of digital and screen-film mammography for breast-cancer screening: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Breast Cancer*, v. 22, n. 2, p. 311–325, 2019. Disponível em: <https://synapse.koreamed.org/articles/1128057>. Acesso em: 05 jan. 2026.

TRINDADE, Gabriel Blanco de Moraes et al. O papel dos algoritmos de inteligência artificial (IA) na detecção de neoplasias da mama em mamografias. *Jornal de Pesquisa Médica e Biociências*, v. 6, p. 436–446, 2025. DOI: <https://doi.org/10.70164/jmbr.v2i6.1010>. Disponível em: <https://journalmbr.com.br/index.php/jmbr/article/view/1010>. Acesso em: 09 fev. 2026.

WONG, Christopher Yung Yuen; LEE, Shu Yi Sonia; MAHMOOD, Rameysh Denovani. Contrast-enhanced spectral mammography. *Singapore Medical Journal*, v. 65, n. 3, p. 195–201, 2024. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11060636/>. Acesso em: 05 jan. 2026.

ZHAO, Hong et al. Limitations of mammography in the diagnosis of breast diseases compared with ultrasonography: a single-center retrospective analysis of 274 cases. *European Journal of Medical Research*, v. 20, n. 1, p. 49, 2015. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s40001-015-0140-6>. Acesso em: 05 jan. 2026.



Entre a exposição e o silêncio: Agrotóxicos, a percepção do risco e seu impacto na autonomia em saúde no campo

Lyriel de Oliveira Santos

Mestranda em Biociências e Fisiopatologia
Universidade Estadual de Maringá - UEM
E-mail: lyrieoliveira96@gmail.com

Amanda Keryn Cornassini Matias

Graduanda em Biomedicina
Centro Universitário Ingá - UNINGÁ
E-mail: keryn.matias@hotmail.com

Maiara Basseto Sena

Mestranda em Biociências e Fisiopatologia
Universidade Estadual de Maringá - UEM
E-mail: pg406155@uem.br

Veridiana de Almeida Flores de Oliveira

Doutoranda em Ciências da Saúde
Universidade Estadual de Maringá - UEM
E-mail: pg56052@uem.br

Natália Santos Pretes

Doutoranda em Ciências de Alimentos
Universidade Estadual de Maringá - UEM
E-mail: nataliapretes@gmail.com

Simone Aparecida Galerani Mossini

Doutora em Ciências Biológicas
Universidade Estadual de Maringá - UEM
E-mail: simaltoe@gmail.com

RESUMO

Os agrotóxicos são amplamente utilizados na produção agrícola para o controle de pragas, mas apresentam riscos relevantes à saúde humana e ao meio ambiente. Trabalhadores rurais, especialmente aqueles vinculados à agricultura familiar, constituem um dos grupos mais vulneráveis devido à exposição crônica e por múltiplas vias ocupacionais, ambientais e alimentares ao longo de sua atividade laboral. Essa vulnerabilidade é agravada por fatores socioeconômicos e estruturais, como baixa escolaridade, renda limitada, ausência de assistência técnica, acesso restrito a equipamentos de proteção individual e barreiras geográficas que dificultam o acesso aos serviços de saúde. Este estudo teve como objetivo analisar, por meio de uma revisão narrativa da literatura, os fatores que comprometem a autonomia em





saúde de trabalhadores rurais, sua percepção de risco e os desafios relacionados à subnotificação de intoxicações por agrotóxicos. A revisão buscou estudos nas bases PubMed e Web of Science, com a seleção de dez artigos originais publicados entre 2016 e 2025. Os resultados indicam que a falta de boas práticas, ações educativas e monitoramento contínuo intensifica os impactos à saúde e dificulta o reconhecimento precoce de doenças ocupacionais e intoxicações. Esses achados reforçam a necessidade de fortalecer a vigilância em saúde, ampliar o acesso aos serviços de saúde e desenvolver políticas públicas e ações educativas adaptadas à realidade rural.

Palavras-chave: Agroquímicos; Conhecimentos, Atitudes e Prática em Saúde; População Rural.

ABSTRACT

Pesticides are widely used in agricultural production for pest control, but pose significant risks to human health and the environment. Rural workers, particularly family farmers, represent one of the most vulnerable groups due to chronic exposure through multiple routes—occupational, environmental, and dietary—throughout their work activities. This vulnerability is exacerbated by socioeconomic and structural factors, such as low education levels, limited income, lack of technical assistance, restricted access to personal protective equipment (PPE), and geographic barriers that hinder healthcare access. This study aimed to analyze, through a narrative literature review, the factors compromising rural workers' health autonomy, their risk perception, and the challenges related to underreporting of pesticide poisonings. The review searched PubMed and Web of Science databases, selecting ten original articles published between 2016 and 2025. Results indicate that the lack of good practices, educational actions, and continuous monitoring intensifies health impacts and hinders early recognition of occupational diseases and poisonings. These findings reinforce the need to strengthen health surveillance, expand service access, and develop public policies and educational actions tailored to rural realities.

Keywords: Agrochemicals; Health Knowledge, Attitudes, Practice; Rural Population.

Introdução

Os agrotóxicos, por definição (Lei nº 14.785/2023), são produtos e agentes físicos, químicos ou biológicos empregados no armazenamento, produção e beneficiamento de produtos agrícolas (Brasil, 2023). Seu objetivo é alterar a composição da flora ou fauna para preservar culturas de seres nocivos. Amplamente utilizados no mundo todo, essas substâncias são divididas em classes conforme o alvo: fungicidas (atuam sobre fungos), herbicidas (contra plantas daninhas) e inseticidas (contra insetos indesejados). Cada classe possui mecanismos de ação distintos, como a inibição anticolinesterásica em inseticidas organofosforados ou o bloqueio do fotossistema II em herbicidas (Brasil, 2024). No entanto, a principal preocupação está relacionada à saúde. Esses riscos tornam-se evidentes quando essas substâncias atingem rios, animais, alimentos ou nosso organismo, realidade comum devido à contaminação de alimentos, água e ao efeito deriva (Dellamatrice; Monteiro, 2014).





2. Exposição e Impactos

Nos dias atuais, não há grupo populacional livre de exposição a agrotóxicos. Todos estamos sujeitos a consumi-los nos alimentos, água ou inalação. Seus efeitos no corpo humano incluem mutagênese, carcinogenicidade e ação como desreguladores endócrinos, associados a distúrbios como obesidade, diabetes e hipertensão. Além disso, há complicações neurológicas (demências como Alzheimer e Parkinson) e reprodutivas (dificuldades gestacionais, malformações congênitas) (Abrasco, 2024)

Mesmo com esses riscos, o uso de agrotóxicos é uma realidade inescapável. Um dos grupos mais vulneráveis é o dos trabalhadores rurais e suas famílias, a agricultura familiar, predominante no Brasil. Esses indivíduos sofrem superexposição crônica, vivendo, convivendo e trabalhando em ambientes contaminados por diversas classes, mecanismos e marcas de agrotóxicos diferentes ao longo dos anos (Brasil, 2017).

2.1 Contexto atual

Com o aumento da demanda alimentícia mundial, resistência de pragas a substâncias existentes e mudanças climáticas, que afetam especialmente países tropicais como o Brasil, o consumo de agrotóxicos cresce anualmente (Associação Brasileira de Saúde Coletiva [Abrasco], 2023). Os produtores rurais manipulam diretamente esses produtos, expondo-se por contato direto ou inalação devido ao uso inadequado de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs). Ademais, ocorre contaminação ambiental por deriva de propriedades vizinhas, afetando solo, água e ar (Santana et al., 2016). E ainda, não se pode ignorar os resíduos persistentes nos alimentos cultivados.

2.2 Vulnerabilidade social

Essa combinação de exposição ambiental e ocupacional prolongada e multirotas (ocupacional, ambiental e pelos alimentos) constitui-se como fator determinante de vulnerabilidade dessa população. A ela somam-se baixa escolaridade predominante, ausência de assistência técnica efetiva, escassez de recursos para EPIs e pulverizadores protegidos, além de unidades de saúde insuficientes em áreas rurais. Tais condições configuram um cenário desassistido que compromete a autonomia em saúde dos trabalhadores (Pessoa et al., 2022; Brasil, 2024).

2.3 Autonomia em saúde e subnotificação

A autonomia em saúde pressupõe a garantia e consciência plena do cidadão quanto ao seu direito universal ao atendimento (Brasil, 1990). Isso abrange desde assistência médica qualificada e acessível, com unidades próximas para emergências e acompanhamento, até o reconhecimento de sintomas de intoxicação e práticas preventivas rotineiras (Abrasco, 2015). No cenário descrito, tais fatores são interdependentes, e interligados, e a forma como se desdobram na nossa realidade, acabam não desempenhando o papel esperado na rotina desses trabalhadores e suas famílias (Abrasco, 2015). A ausência de um monitoramento sistemático por parte dos órgãos responsáveis pela saúde reforça a distância entre eles e o exercício pleno de sua autonomia sanitária, e contribui para o número de não reconhecimento, consequentemente a subnotificação de possíveis casos (Faria; Fassa; Facchini, 2007).





Com isso, esta pesquisa busca identificar os fatores que comprometem a autonomia em saúde dos trabalhadores rurais, compreender sua percepção em relação aos riscos aos quais estão expostos e apontar possíveis estratégias para a mitigação dos problemas enfrentados por essa população. Dessa forma, pretende-se contribuir com a literatura existente e colaborar para a co-construção de um pensamento mais crítico e cauteloso diante da exposição ocupacional.

3. Metodologia

Foi realizada revisão narrativa da literatura nas bases PubMed e Web of Science. Na PubMed, utilizou-se a estratégia: ('Rural Health Services' OR 'Health Knowledge, Attitudes, Practice') AND 'Occupational Exposure' AND 'Pesticides' AND 'Perception'. Na Web of Science, aplicaram-se três blocos de busca em duplas com os mesmos termos, adicionando 'Qualitative Research' com OR no último bloco. Incluíram-se 10 artigos originais publicados nos últimos 10 anos (2016-2025), de livre acesso em qualquer idioma, selecionados por relevância temática após triagem manual de títulos/resumos e texto completo.

4. Discussão

4.1 Contexto familiar

Na agricultura familiar, a maioria dos agricultores gerenciam pequenas produções e enfrentam desafios como a negociação de seus produtos, falta de assistência técnica efetiva, dificuldades financeiras para crédito ou maquinário, além de considerarem os agrotóxicos um "mal necessário", conforme relatado por Buralli et al. (2021). Esses fatores contribuem com a vulnerabilidade que se reforça em fatores econômicos e assistenciais. Os pequenos produtores enfrentam uma pressão enorme em cada colheita, pois sua renda depende diretamente de sua produção, logo, se as “pragas” ficam mais resistentes, e o acesso aos EPIs não é algo garantido por diversas situações, a lavoura acaba sendo a prioridade por representar o retorno econômico. E é sob essa pressão que muitos agricultores misturam produtos contraindicados, e aplicam doses extras ao recomendado, para garantir que sua plantação resista. Tais práticas relacionam-se diretamente às deficiências na leitura e interpretação de rótulos identificadas por Moreira e Silva (2023).

4.2 Conhecimentos e percepções

Na revisão de Moreira e Silva (2023), identificaram-se deficiências no entendimento de rótulos de produtos, classificações toxicológicas e seleção adequada de agrotóxicos entre agricultores familiares. Esse cenário associa-se ao fato de que menos da metade da população dos estudos revisados, receberam treinamento formal para aplicação de pesticidas. Além disso, menos da metade segue as doses recomendadas nos rótulos, confiando na experiência pessoal para aplicar quantidades superiores. Essa realidade decorre da baixa escolaridade constatada por Öztas et al. (2018), Buralli et al. (2021), Souza et al. (2022) e Wongta et al. (2024), na qual a maioria possuía apenas ensino fundamental como formação educacional.





4.3 Manejo do risco

É essencial que agricultores e suas famílias tenham acesso a informações técnicas e educativas e ciência dos riscos envolvidos com as substâncias que manipulam, bem como as consequências do uso prejudicial ou da ausência de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e das práticas adequadas de armazenamento, conforme enfatizado por Wongta et al. (2024). Afata et al. (2022) demonstram que agricultores que adotam boas práticas de aplicação apresentam 48% menos chances de experimentar cefaleia, evidenciando o impacto direto de comportamentos seguros na redução de sintomas agudos. Desse modo o gerenciamento adequado desse risco, aliado ao reconhecimento precoce de sinais e sintomas, garante ao produtor não apenas maior consciência sobre as ameaças à sua saúde, mas também a autonomia para gerenciar seu próprio cuidado, estando sempre a par de sua situação de exposição. Dessa forma, o conhecimento da importância dos EPIs pode se tornar um hábito consolidado para um futuro mais seguro, e essa mudança cultural precisa ocorrer com bases sólidas que incluem desde programas educacionais contextualizados até sistemas de descarte assistido e garantido, evitando que a exposição seja ainda mais ampliada, como complementado por Öztaş et al. (2018).

Estudos como o de Afata et al. (2022) demonstram, por meio de modelos estatísticos, que trabalhadores agrícolas apresentam cerca de duas vezes mais chances de inalar produtos químicos em comparação com outros grupos ocupacionais. A baixa renda também se associa a uma incidência aproximada duas vezes maior de sintomas respiratórios, como tosse, em relação aos agricultores com maior renda, o que reforça o ponto levantado por Buralli et al. (2021) de que a falta de acesso a maquinários e as tecnologias mais seguras de aplicação de agrotóxicos expõe desproporcionalmente os pequenos produtores a maiores riscos.

4.4 Acesso à saúde

Além da vulnerabilidade socioeconômica, as famílias agricultoras enfrentam barreiras físicas e geográficas que dificultam o acesso básico à saúde e à informação. Gunning et al. (2025) relatam que muitos serviços não alcançam propriedades rurais remotas, enquanto os produtores enfrentam obstáculos problemáticos para acessar unidades de atendimento, muitas vezes perdendo um dia inteiro de trabalho devido a distâncias extensas e demora no atendimento. Fatores como precariedade de estradas de chão, condições confortáveis de transporte para profissionais ou chuvas que inviabilizam deslocamentos agravam essa realidade. Assim, questões de saúde como o reconhecimento precoce de doenças neurológicas (Gunning et al., 2025) ou o acompanhamento pré-natal de gestantes rurais (Steel; Hyland, 2025) são diretamente comprometidas por essas barreiras estruturais e geográficas. Ações que podem impactar diretamente uma família inteira, e que são consideradas preventivas para a saúde coletiva.

4.5 Estratégias de mitigação

Ssekkadde et al. (2025) enfatizam que os processos educacionais devem ser customizados para uma população-alvo, considerando sua rotina, cultura e particularidades locais. Embora ações genéricas possam gerar impacto inicial, falham em promover mudanças rigorosas quando não especificadas para aquela comunidade, o aumento do volume de informações não se traduz, automaticamente, em mudanças comportamentais. Intervenções que integram práticas culturalmente relevantes e fatores psicossociais são essenciais em países em desenvolvimento para aprimorar práticas ocupacionais e consolidar uma





consciência segura, como defende Omoyajowo et al. (2025). E ainda segundo esses autores, novos modelos regulatórios e comportamentais podem e devem ser criados, mas sua adesão depende diretamente da motivação dos produtores para incorporar tais mudanças em suas rotinas diárias.

Nesse contexto, o papel dos profissionais de saúde que atendem a população rural é imprescindível, embora também enfrentem barreiras significativas para prestar cuidado adequado. Torna-se necessário ampliar equipes para evitar sobrecarga laboral e implementar protocolos padronizados de atendimento. Resultados complexos, como maior segurança na exposição ocupacional, não se alcançam apenas com intervenções individuais. Políticas públicas são fundamentais para estabelecer diretrizes que integrem a saúde do trabalhador, a capacitação profissional e o manejo adequado de agrotóxicos, conforme apontado por Steel e Hyland (2025).

Considerações finais

Esta pesquisa permitiu compreender que a exposição aos agrotóxicos entre trabalhadores rurais vai além de um risco ocupacional isolado, estando profundamente ligada às condições sociais, econômicas e educacionais que moldam o cotidiano da agricultura familiar. Para grande parte dessas famílias, a lavoura representa a única fonte de renda, o que as coloca em uma situação de constante pressão para garantir a produção, mesmo que isso implique utilizar maiores quantidades de produtos, realizar misturas contraindicadas ou aplicar doses acima do recomendado, muitas vezes sem conhecimento técnico adequado.

Observou-se que a limitação no acesso à informação e ao treinamento formal dificulta a leitura de rótulos, a compreensão das classificações toxicológicas e a escolha correta dos agrotóxicos. Como consequência, o manejo ocorre frequentemente de forma insegura, sem uso adequado de equipamentos de proteção individual e sem práticas apropriadas de armazenamento, aumentando o risco de inalação e intoxicação. A baixa renda ainda restringe o acesso a tecnologias e maquinários mais seguros, tornando esses trabalhadores mais vulneráveis quando comparados a outros grupos ocupacionais.

Somam-se a esse cenário as barreiras geográficas e estruturais que dificultam o acesso aos serviços de saúde. Longas distâncias, estradas precárias e demora no atendimento desestimulam a busca por assistência, ao mesmo tempo em que profissionais de saúde também enfrentam obstáculos para alcançar essas comunidades. Essa combinação contribui para o reconhecimento tardio de sintomas, subnotificação de casos e menor autonomia no cuidado com a própria saúde.

Diante desses achados, torna-se evidente a necessidade de estratégias educativas contínuas, adaptadas à realidade cultural e social dos agricultores, que promovam mudanças práticas e duradouras no comportamento, indo além de ações pontuais. Capacitações contextualizadas, fortalecimento da assistência técnica, ampliação do acesso aos serviços de saúde e políticas públicas integradas são fundamentais para reduzir riscos e promover maior proteção a essa população.

Como limitações, destaca-se o caráter narrativo da revisão e a dependência de estudos previamente publicados, o que pode restringir a generalização dos resultados. Assim, recomenda-se a realização de pesquisas de campo, especialmente no contexto brasileiro, que explorem experiências locais, intervenções educativas e políticas específicas, ampliando a produção científica nacional e contribuindo para soluções mais efetivas e próximas da realidade desses trabalhadores.





REFERÊNCIAS

AFATA, Tariku Neme et al. Prevalence of pesticide use and occupational exposure among small-scale farmers in Western Ethiopia. *Environmental health insights*, v. 16, p. 11786302211072950, 2022. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/11786302211072950>. Acesso em 05 jan. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SAÚDE COLETIVA (ABRASCO). Danos dos agrotóxicos na saúde reprodutiva: conhecer e agir em defesa da vida. Rio de Janeiro: ABRASCO, 2024. Disponível em: https://redeaps.org.br/wp-content/uploads/2024/08/Saude-Reprodutiva-e-os-Agrotoxicos_Abrasco_2024-1.pdf. Acesso em: 20 fev. 2026

BRASIL. Lei nº 14.785, de 27 de dezembro de 2023. Dispõe sobre pesquisa, produção, comercialização e uso de agrotóxicos. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 28 dez. 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/lei/l14785.htm. Acesso em: 2 jan. 2026.

BRASIL. Lei nº 8.080, de 19 de setembro de 1990. Dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização e o funcionamento dos serviços correspondentes. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 20 set. 1990. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8080.htm?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 02, Jan. 2026.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Classificação toxicológica dos agrotóxicos. In: *Agrotóxicos: classificação e mecanismos de ação*. Brasília, DF, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos/classificacao-toxicologica>. Acesso em: 02 jan. 2026.

BRASIL. Ministério da Saúde. Caderno VSPEA: módulo 1 – vigilância em saúde de condições expostas a agrotóxicos. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/svsa/agrotoxicos/caderno-vspea-modulo-1.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2026.

BRASIL. Ministério da Saúde. Relatório Nacional de Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Agrotóxicos. Brasília, DF, 2017. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/relatorio_nacional_vigilancia_populacoes_expostas_agrotoxicos.pdf. Acesso em: 02 jan. 2026

BURALLI, Rafael Junqueira et al. Conhecimentos, atitudes e práticas de agricultores familiares brasileiros sobre a exposição aos agrotóxicos. *Saúde e Sociedade*, v. 30, p. e210103, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sausoc/a/QHW67BwjvwzMPPKQs75DTSf/?lang=pt>. Acesso em 04 jan. 2026.

DELLAMATRICE, Priscila M.; MONTEIRO, Regina TR. Principais aspectos da poluição de rios brasileiros por pesticidas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, p. 1296-1301, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/KTDWxjKS9f6gwG8tYPNMzss/?lang=pt>. Acesso em: 12 jan. 2026





FARIA, Neice Müller Xavier; FASSA, Anaclaudia Gastal; FACCHINI, Luiz Augusto. Intoxicação por agrotóxicos no Brasil: os sistemas oficiais de informação e desafios para realização de estudos epidemiológicos. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 12, p. 25-38, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/NnkMLxYqx4p5ZD6pkWpxn8x/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 02 jan, 2026.

FUNDAÇÃO HEINRICH BOLL; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SAÚDE COLETIVA (ABRASCO). Heinrich Böll; Abrasco. Atlas dos agrotóxicos: uso e impactos no Brasil. São Paulo, 2023. 64 p. Disponível em: <https://br.boell.org/sites/default/files/2023-12/atlas-do-agrotoxico-2023.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2026.

GUNNING, James et al. Dementia and Cognitive Impairment in the Australian Farming Community. A Preliminary Qualitative Investigation of Healthcare Provider's Perceptions of Risks/Barriers to Care. *Australian Journal of Rural Health*, v. 33, n. 1, p. e70006, 2025. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ajr.70006>. Acesso em: 02 jan. 2026.

MOREIRA, Andreia; DA SILVA, Manuela Vieira. Pesticide application as a risk factor/behaviour for workers' health: a systematic review. *Environments*, v. 10, n. 9, p. 160, 2023. Disponível em: [https://www.mdpi.com/2076-3298/10/9/160#:~:text=Environments%202023%2C%2010\(9\),Browse%20Figure](https://www.mdpi.com/2076-3298/10/9/160#:~:text=Environments%202023%2C%2010(9),Browse%20Figure). Acesso em: 05 jan. 2026.

OMOYAJOWO, Koleayo et al. Respostas adaptativas de agricultores de arroz nigerianos às mudanças climáticas e à contaminação do campo por meio da inovação ecológica. *Discov Sustain* 6, 1286 (2025). Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43621-025-01782-w>. Acesso em 07 jan. 2026.

ÖZTAŞ, Dilek et al. Knowledge level, attitude, and behaviors of farmers in çukurova region regarding the use of pesticides. *BioMed research international*, v. 2018, n. 1, p. 6146509, 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1155/2018/6146509>. Acesso em: 05 jan. 2026.

PESSOA, Glaucia da Silva et al. Uso de agrotóxicos e saúde de trabalhadores rurais em municípios de Pernambuco. *Saúde em Debate*, v. 46, p. 102-121, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sdeb/a/WHtPzqGQVPZGfjYZ7yCvhDj/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 20, fev. 2026.

SANTANA, Claudiana Mangabeira et al. Exposição ocupacional de trabalhadores rurais a agrotóxicos. *Cadernos Saúde Coletiva*, v. 24, n. 3, p. 301-307, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cadsc/a/5MVM4bfzXm5XBxnGYS4HYPw/?lang=pt>. Acesso em: 02 jan. 2026.

SOUZA, Israel Vieira; SILVA, Tâmara Almeida; Pinheiro, Francisco Alves. Riscos ao meio ambiente e à saúde de agricultores familiares pelo uso inadequado de agrotóxicos: o caso da União das Associações do Vale do Salitre, Juazeiro/BA, Brasil. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, v. 57, n. 4, p. 654-664, 2022. Disponível em: https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/1469/844. Acesso em 02 jan. 2026.





SSEKKADDE, Peter et al. Educational Intervention Effects on Pesticide-Related Knowledge, Attitudes, Practices, Exposure, and Health Among Ugandan Smallholder Farmers: A Cluster Randomized Controlled Trial. *International Journal of Public Health*, v. 70, p. 1608952, 2025. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/41415799/>. Acesso em 02 jan. 2026.

STEEL, S. Kathleen; HYLAND, Carly. Examining Healthcare Providers' Knowledge, Attitudes, and Practices in Supporting Pregnant Farmworkers to Mitigate Occupational Pesticide Exposure in California: A Qualitative Study. *Journal of Primary Care & Community Health*, v. 16, p. 21501319251407545, 2025. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/41437535/>. Acesso em 02 jan. 2026.

WONGTA, Anurak et al. Agricultural health and safety: evaluating Farmers' knowledge, attitude, and safety behavior in Northern Thailand. *Safety and Health at Work*, v. 15, n. 4, p. 435-440, 2024. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11650785/>. Acesso em: 07 jan. 2026.



Inovação e saúde: Tecnologias biomédicas aplicadas a segurança alimentar e diagnóstico clínico

Natália Santos Pretes

Biomédica Mestre em Ciência de Alimentos
Universidade Estadual de Maringá (UEM)
E-mail: pg55783@uem.br

Lyriel de Oliveira Santos

Mestranda em Biociências e Fisiopatologia
Universidade Estadual de Maringá (UEM)
E-mail: lyrieoliveira96@gmail.com

Anna Beatriz da Silva

Graduanda em Farmácia
Universidade Estadual de Maringá (UEM)
E-mail: anna85665@gmail.com

Pablo Ricardo Sanches de Oliveira

Doutorando em Ciência de Alimentos
Universidade Estadual de Maringá (UEM)
E-mail: prsanchesoliveira@gmail.com

Tainá Braganholi

Mestranda em Promoção da Saúde - UniCesumar
E-mail: taina_braganholi@hotmail.com

Juliana Harumi Miyoshi

Doutora em Ciências Farmacêuticas.
Universidade Estadual de Maringá (UEM)
E-mail: jhm_1992@hotmail.com

RESUMO

Nas últimas duas décadas, os avanços em tecnologias biomédicas de diagnóstico têm promovido transformações significativas nos campos da segurança alimentar e da saúde pública, especialmente quando se olha para o aumento da industrialização dos alimentos e da ocorrência de surtos de doenças transmitidas por alimentos. Este capítulo tem como objetivo analisar criticamente os estudos dos últimos 10 anos das inovações diagnósticas na segurança alimentar, discutindo seu potencial para superar limitações dos métodos convencionais. Trata-se de uma revisão narrativa da literatura científica de publicações entre janeiro de 2016 a fevereiro de 2026, com levantamento realizado na base de dados *Pubmed*, priorizando estudos de que investigaram a detecção de patógenos alimentares utilizando a tecnologia de alimentos baseadas na Inteligência Artificial (IA). As evidências analisadas demonstram 117 artigos que foram analisados considerando a primeira etapa da revisão como títulos e resumos. O capítulo tem relevância crítica ao integrar o conceito de *One Health* à inovação diagnóstica, ao comparar





tecnologias emergentes e a incorporação em sistemas de vigilância em saúde alimentar. Entretanto, persistem desafios relacionados à padronização metodológica, validação clínica e laboratorial, acessibilidade em contextos de baixa renda, integração de grandes volumes de dados e adequação aos marcos regulatórios vigentes.

Palavras-chave: Diagnóstico; Segurança alimentar; Inteligência artificial

ABSTRACT

Over the past two decades, advances in biomedical diagnostic technologies have promoted significant transformations in the fields of food safety and public health, especially when looking at the increase in food industrialization and the occurrence of foodborne disease outbreaks. This chapter aims to critically analyze the studies of the last 10 years of diagnostic innovations in food safety, discussing their potential to overcome limitations of conventional methods. This is a narrative review of the scientific literature of publications between January 2016 and February 2026, with a survey carried out in the Pubmed database, prioritizing studies that investigated the detection of food pathogens using food technology based on Artificial Intelligence (AI). The analyzed evidence shows 117 articles that were analyzed considering the first stage of the review as titles and abstracts. The chapter has critical relevance in integrating the concept of One Health into diagnostic innovation, comparing emerging technologies and incorporation into food health surveillance systems. However, challenges persist related to methodological standardization, clinical and laboratory validation, accessibility in low-income contexts, integration of large volumes of data, and adaptation to current regulatory frameworks.

Keywords: Diagnosis; Food security; Artificial intelligence

Introdução

A segurança alimentar e a saúde pública são as principais estratégias para o desenvolvimento seguro e sustentável da construção da saúde de qualidade, especialmente quando é analisada a crescente produção industrial de alimentos, globalização e crescente complexidade dos sistemas agroalimentares. Zanin e colaboradores (2021), argumentam que a segurança dos alimentos ultrapassa a dimensão técnica do controle sanitário, constituindo um uma estrutura política de saúde coletiva e da garantia do direito humano à alimentação adequada. Nessa perspectiva, a detecção precoce de riscos e contaminantes de alimentos, não se limita à identificação de microrganismos e usos inadequados de produtos sintéticos, mas engloba uma lógica preventiva e sistêmica de proteção à saúde (Kim et al., 2024).

Os métodos convencionais de análise microbiológica e toxicológica consolidaram-se como referência na vigilância sanitária desde quando foram desenvolvidas. Contudo, conforme discutido por McMeekin et al. (2006), tais métodos foram desenvolvidos em um paradigma laboratorial baseado nas condições da época, o que implica tempo prolongado de resposta e limitações na detecção de baixos níveis de contaminação, se levar em consideração e comparação às novas tecnologias de hoje. Esse modelo torna-se insuficiente diante da emergência de diagnósticos de patógenos resistentes, da diversidade de microrganismos e variabilidade genética, associados às doenças transmitidas por alimentos decorrentes de resíduos de produtos sintéticos e também, de microrganismos, como fungos e bactérias que produzem metabólitos





que geram consequências significativas na integridade da saúde humana e animal, e da complexidade das matrizes alimentares modernas. Wang e Yue (2017), ao analisarem tendências em tecnologias diagnósticas, reforçam que os sistemas contemporâneos de vigilância sanitária e alimentar, em âmbito hospitalar e industrial, demandam ferramentas rápidas, sensíveis e capazes de fornecer dados em tempo quase que real, evidenciando a necessidade de superação das abordagens tradicionais.

Apesar do avanço significativo das tecnologias biomédicas de diagnóstico, nas últimas décadas, observa-se a ausência de análises integradas que articulem a necessidade de diagnóstico visando a segurança de alimentos, sob o uso de Inteligência Artificial (IA) visando a perspectiva da saúde única (*One Health*). Essa lacuna é particularmente relevante, considerando que a relação entre saúde humana, animal e ambiental exige modelos diagnósticos capazes de operar de maneira eficaz nas diferentes etapas da cadeia produtiva e nos distintos níveis de vigilância epidemiológica. Embora o conceito de *One Health* seja amplamente discutido na literatura (Marconi et al., 2023; Frankish et al., 2021), coloca o conceito como um dos principais eixos estruturantes da inovação diagnóstica em segurança alimentar, entretanto ainda carece de aprofundamento teórico e sistematização crítica.

Contudo, os avanços em biologia molecular (Law et al., 2015), nanotecnologia aplicada a biossensores (Khan et al., 2024) e algoritmos de inteligência artificial para análise preditiva (Naseem & Rizwan, 2025) têm transformado o diagnóstico de contaminantes alimentares e biomarcadores de exposição humana, como uma alternativa viável para uso no setor alimentício. Essas tecnologias ampliam a sensibilidade e especificidade analítica, reduzem o tempo de resposta e permitem a integração de grandes volumes de dados epidemiológicos, considerando o banco de dados de bases científicas que ficam disponíveis na rede de internet, de fácil acesso, mas que possui algumas limitações, como confiabilidade e veracidade de experimentos, por isso, sua incorporação aos sistemas de vigilância ainda enfrenta desafios regulatórios, econômicos e operacionais (Souza et al., 2025; Spagnoli et al., 2023), o que evidencia a necessidade de análise crítica e integrada dessas ferramentas.

Diante disso, este capítulo tem como objetivo geral analisar criticamente os avanços recentes em tecnologias biomédicas de diagnóstico aplicadas à segurança alimentar com base no uso da IA. Como objetivos específicos, busca-se: (i) examinar os fundamentos científicos das principais tecnologias emergentes; (ii) discutir suas aplicações práticas na detecção de patógenos, toxinas e biomarcadores; (iii) avaliar limitações técnicas, desafios regulatórios e barreiras de implementação; e (iv) explorar perspectivas futuras e implicações para a vigilância alimentar em saúde global, com ponto crucial a protagonização do paciente.

Esse estudo trata-se de uma revisão narrativa da literatura científica publicada predominantemente nos últimos dez anos, com levantamento realizado exclusivamente em base de dados *PubMed*. Foram priorizados estudos experimentais que abordassem tecnologias diagnósticas aplicadas à segurança alimentar com a utilização e apoio da IA.

A relevância deste estudo manifesta-se em múltiplas dimensões. Do ponto de vista teórico, propõe-se a integração entre avanços tecnológicos e inteligência artificial como um novo paradigma diagnóstico orientado pela saúde sanitária de segurança alimentar. A revisão narrativa permite mapear avanços, lacunas e desafios de forma articulada. No âmbito prático e organizacional, as discussões contribuem para o aprimoramento de sistemas de vigilância e processos industriais. Socialmente, reforça-se o potencial dessas tecnologias na redução de doenças transmitidas por alimentos e no fortalecimento da confiança do consumidor, visando a utilização de profissionais capacitados. Por fim, no campo das políticas públicas, o capítulo oferece subsídios para regulamentação, validação e implementação de estratégias alinhadas aos princípios de *One Health*.





2. Metodologia

Trata-se de um estudo de revisão de literatura, de caráter descritivo-exploratório e abordagem qualitativa, conforme delineamento conceitual apresentado por Macedo et al. (2022) com modificações, por ser um tema com muitas publicações e discussões, utilizou-se apenas uma base de dados para obtenção de artigos. A escolha pela revisão narrativa justifica-se pela necessidade de integrar diferentes perspectivas teóricas e tecnológicas acerca das inovações diagnósticas aplicadas à segurança alimentar e à saúde pública, permitindo compreender tendências emergentes, lacunas conceituais e desafios regulatórios. O caráter qualitativo e exploratório possibilita analisar criticamente as inovações tecnológicas e inteligência artificial, especialmente sob a perspectiva da saúde única (*One Health*) no âmbito de segurança alimentar, favorecendo uma abordagem interpretativa e integrativa do tema.

A busca bibliográfica foi realizada na base *PubMed*, selecionada por sua relevância nas áreas de biomedicina, biotecnologia e saúde coletiva. O recorte temporal incluiu publicações entre janeiro de 2016 a fevereiro de 2026, contemplando uma década de avanços científicos.

Foram utilizados descritores em inglês, combinados por grupos, tais como: grupo 1: “*diagnosis*”; grupo 2: “*food technology*”; grupo 3: “*artificial intelligence*”. Aplicou-se apenas o filtro de 10 anos na busca inicial de artigos.

A busca inicial dos grupos foi: grupo 1: 2.685.593. Grupo 2: 57.509. Grupo 3: 203.731. Ao fazer a busca final, os três grupos obtiveram 125 artigos. 8 artigos foram excluídos por se tratarem de revisão e revisão sistemática. Foram analisados títulos e resumos dos 117 selecionados e foi a partir dessa leitura que foi realizada a análise.

A análise dos dados foi conduzida por meio de análise temática de conteúdo, possibilitando a identificação de padrões recorrentes, convergências conceituais, lacunas de conhecimento e tendências tecnológicas. Paralelamente, realizou-se uma análise quantitativa descritiva simples, baseada na frequência de ocorrência das diferentes tecnologias ao longo do período investigado, permitindo observar tendências temporais e propor hipóteses exploratórias, como o crescimento mais acentuado de estudos envolvendo inovação tecnológica e IA nos últimos dez anos do recorte analisado. Dessa forma, a metodologia adotada assegura transparência, rigor científico e coerência com os objetivos propostos pelo estudo.

3. Discussão / Desenvolvimento

A incorporação da inteligência artificial (IA) ao diagnóstico de patógenos e contaminantes alimentares representa uma transformação significativa na vigilância microbiológica e no controle de qualidade e segurança de alimentos. A detecção de microrganismos patogênicos baseia-se atualmente, em métodos culturais, bioquímicos e moleculares que, embora robustos, demandam tempo, infraestrutura laboratorial e mão de obra especializada. O avanço de sistemas baseados em aprendizado de máquina, visão computacional e análise espectral tem reduzido essas limitações, promovendo diagnósticos mais rápidos, automatizados e potencialmente aplicáveis em tempo real ao longo da cadeia produtiva.

A rapidez na detecção de patógenos é crucial para prevenir surtos de doenças transmitidas por alimentos. Métodos convencionais de identificação de *Escherichia coli*, por exemplo, são laboriosos e levam dias.





Pesquisas recentes demonstram que algoritmos de detecção de objetos em tempo real, integrados à imagem microscópica de contraste de fase, podem identificar *E. coli* em apenas 3 horas com 94% de precisão. Esta tecnologia permite a quantificação rápida em várias ordens de magnitude, sendo aplicável inclusive em áreas com recursos limitados por dispensar equipamentos caros (Ma et al., 2023; Kesmen et al., 2020).

No campo da biologia molecular, o sistema MFMAS-lactobacilli, baseado em análise de fusão de alta resolução (HRM) e aprendizado de máquina, conseguiu 100% de precisão na identificação de espécies de lactobacilos em uma única etapa, superando as dificuldades de métodos atuais em diferenciar espécies muito próximas. Além disso, o uso de imagem de fluorescência combinada com redes neurais profundas (EfficientNet-B0 e U-Net) mostrou-se altamente eficaz na detecção e segmentação automática de contaminação fecal em carcaças de carne, com precisão superior a 97%.

3.1 Espectroscopia e IA na Avaliação de Qualidade e Autenticidade

A integração da espectroscopia com ferramentas de aprendizado de máquina revolucionou a análise da composição e autenticidade dos alimentos.

- **Mel:** A combinação de espectroscopia Raman e algoritmos como redes neurais convolucionais (CNN) alcançou até 100% de acerto na detecção de mel adulterado em baixas concentrações (Hu et al., 2022).
- **Carnes:** A espectroscopia de refletância Vis/NIR, associada a métodos multivariados (SVM, RF, DCNN), permite a detecção rápida e precisa de adulteração em carne bovina moída (ex: mistura com carne suína ou coração bovino) com acurácia acima de 99%. (Weng et al., 2020)
- **Chá e Bebidas:** Espectrômetros micro-NIR conectados a smartphones surgem como ferramentas portáteis e de baixo custo para prever teores de cafeína e catequinas em chás com alta correlação (R_p de 0,98) (Wang et al., 2020).

3.2 Desafios do uso de IA

Apesar dos resultados promissores, é preciso considerar a quantidade de desafios que essa prática apresenta. A grande variabilidade das matrizes alimentares, o número de microrganismos já conhecidos, a heterogeneidade e a necessidade de grandes conjuntos de dados limitam a generalização dos modelos. A transferibilidade de calibrações entre equipamentos e contextos também constitui obstáculo técnico relevante. Além disso, modelos de aprendizado profundo dificultam a interpretabilidade e a aceitação regulatória.

Embora a IA tenha avançado na identificação visual, a estimativa precisa de nutrientes ainda enfrenta obstáculos. Um estudo avaliando o ChatGPT-4 (O'Hara et al., 2025) para estimar o conteúdo nutricional a partir de fotos de refeições revelou que, embora a ferramenta identifica bem os alimentos (93% de precisão), ela falha significativamente ao estimar porções médias e grandes, subestimando a maioria dos nutrientes. Em contraste, modelos específicos de redes neurais profundas treinados para identificar nozes em fotos conseguiram calcular o conteúdo energético e mineral com margens de erro muito baixas (0,8 a 2,6%) (An et al., 2024).





Outro ponto importante refere-se à validação em condições reais de operação industrial. Muitos estudos são conduzidos em ambientes controlados, o que pode não refletir a complexidade das cadeias produtivas. A implementação efetiva exige integração com sistemas de gestão da qualidade, treinamento de pessoal e adequação às normas sanitárias. A adoção de IA no diagnóstico alimentar não deve ser vista como substituição integral dos métodos tradicionais, mas como ferramenta complementar que aumenta sensibilidade, rapidez e rastreabilidade.

Sob a perspectiva de saúde pública, a incorporação de IA no diagnóstico de patógenos e contaminantes alimentares fortalece estratégias de vigilância e resposta precoce a surtos. A capacidade de análise rápida e automatizada contribui para reduzir o tempo entre contaminação e intervenção, minimizando impactos econômicos e sanitários. Além disso, o acesso a dispositivos portáteis e de menor custo amplia a possibilidade de aplicação em regiões com infraestrutura limitada, promovendo maior equidade em segurança alimentar.

Considerações finais / Conclusão

Os estudos analisados demonstram que a inteligência artificial, quando integrada a técnicas de imagem, espectroscopia e genômica, oferece ganhos substanciais em velocidade, precisão e automação no diagnóstico de patógenos e contaminantes alimentares. Contudo, sua consolidação como prática rotineira depende da superação de desafios relacionados à padronização, interpretabilidade e validação regulatória.

A convergência entre IA, sensores avançados e microbiologia preditiva aponta para um cenário no qual sistemas inteligentes atuarão de forma contínua ao longo da cadeia de produção, promovendo uma segurança alimentar mais proativa, baseada em dados e orientada por risco.





REFERÊNCIAS

MCMEEEKIN, Thomas Alexander et al. Information systems in food safety management, *International Journal of Food Microbiology*, Volume 112, Issue 3, 2006, Pages 181-194, ISSN 0168-1605, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.04.048>.

LAW, Jodi Woan-Fei et al. Rapid methods for the detection of foodborne bacterial pathogens: principles, applications, advantages and limitations. *Frontiers in microbiology* vol. 5 770. 12 Jan. 2015, DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00770>

WANG, Jing; YUE, Huili. Food safety pre-warning system based on data mining for a sustainable food supply chain, *Food Control*, Volume 73, Part B, 2017, Pages 223-229, ISSN 0956-7135, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.09.048>.

YANG, Chen et al. Perspective: Essential Study Quality Descriptors for Data from Nutritional Epidemiologic Research. *Advances in nutrition* (Bethesda, Md.) vol. 8,5 639-651. 15 Sep. 2017, DOI: <https://doi.org/10.3945/an.117.015651>

JESPERSEN, Lone et al. The impact of maturing food safety culture and a pathway to economic gain, *Food Control*, Volume 98, 2019, Pages 367-379, ISSN 0956-7135, <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.11.041>.

WENG, Shizhuang et al. "Rapid detection of adulteration of minced beef using Vis/NIR reflectance spectroscopy with multivariate methods." *Spectrochimica acta. Part A, Molecular and biomolecular spectroscopy* vol. 230 (2020): 118005. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2019.118005>

WANG, Yu-Jie et al. "Micro-NIR spectrometer for quality assessment of tea: Comparison of local and global models." *Spectrochimica acta. Part A, Molecular and biomolecular spectroscopy* vol. 237 (2020): 118403. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2020.118403>

DA CUNHA, Diogo Thimoteo. Improving food safety practices in the foodservice industry, *Current Opinion in Food Science*, Volume 42, 2021, Pages 127-133, ISSN 2214-7993, <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.05.010>.

FRANKISH, Elizabeth J. et al. Review article: Food safety culture from the perspective of the Australian horticulture industry. *Trends in Food Science and Technology*, Volume 116, 2021, Pages 63-74, ISSN 0924-2244, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.007>.

KESMEN, Zülal et al. "Multi fragment melting analysis system (MFMAS) for one-step identification of lactobacilli." *Journal of microbiological methods* vol. 177 (2020): 106045. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2020.106045>

ZANIN, Laís Mariano, et al. The evolvement of food safety culture assessment: A mixed-methods systematic review, *Trends in Food Science & Technology*, Volume 118, Part A, 2021, Pages 125-142, ISSN 0924-2244, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.013>.





BRANDÃO, Marcelo Luiz Lima. Pesquisa em vigilância sanitária: uma abordagem na área de microbiologia de alimentos. *Vigil Sanit Debate*, Rio de Janeiro. 10(4):10-19, novembro 2022. <https://doi.org/10.22239/2317-269X.02118>

HU, Shuhan et al. “Raman spectroscopy combined with machine learning algorithms to detect adulterated Suichang native honey.” *Scientific reports* vol. 12,1 3456. 2 Mar. 2022, <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07222-3>

ZANIN, Laís Mariano et al. A roadmap for developing educational actions using food safety culture assessment - A case of an institutional food service. *Food research international*. Ottawa, Ont. vol. 155, 2022: 111064. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111064>

KUDASHKINA, Katya et al. Artificial Intelligence technology in food safety: A behavioral approach, *Trends in Food Science & Technology*, Volume 123, 2022, Pages 76-381, ISSN 0924-2244, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.03.021>.

MACEDO, Fernando Luis et al. Biotecnologia e biossegurança em tempos de Covid-19 no Brasil / Biotechnology and biosafety in times of Covid-19 in Brazil. *Brazilian Journal of Development*, [S. l.], v. 8, n. 7, p. 48805–48816, 2022. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n7-010>

MA, Luyao et al. “Accelerating the Detection of Bacteria in Food Using Artificial Intelligence and Optical Imaging.” *Applied and environmental microbiology* vol. 89,1 (2023): e0182822. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13040860>

SPAGNOLI, Pauline et al. Food safety culture maturity and its relation to company and employee characteristics. *Heliyon* vol. 9,11 e21561. 2 Nov. 2023, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21561>

MARCONI, Francesca et al. Food safety culture in food companies: evaluation of the perception of food safety culture in three Tuscan food companies. *Italian Journal of Food Safety* 2023; 12:11012, <https://www.pagepressjournals.org/ijfs/article/view/11012>

KIM, Eiseul et al. “Classification of *Lactobacillus sakei* subspecies based on MALDI-TOF MS protein profiles using machine learning models.” *Microbiology spectrum* vol. 12,10 (2024): <https://doi.org/10.1128/spectrum.03668-23>

KHAN, Saba Khursheed et al. Nanotechnology in aquaculture: Transforming the future of food security. *Food chemistry: X* vol. 24 101974. 7 Nov. 2024, <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101974>

AN, Ruopeng et al. “Build Deep Neural Network Models to Detect Common Edible Nuts from Photos and Estimate Nutrient Portfolio.” *Nutrients* vol. 16,9 1294. 26 Apr. 2024, <https://doi.org/10.3390/nu16091294>

FERREIRA, Ingrid Campos Miguez; et al. Design thinking: An effective strategy to evolve food safety culture. *Food Control*, Volume 171, 2025, 111093, ISSN 0956-7135, <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.111093>.

NASEEM, Sobia; RIZWAN, Muhammad. The role of artificial intelligence in advancing food safety: A strategic path to zero contamination, *Food Control*, Volume 175, 2025, 111292, ISSN 0956-7135, <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2025.111292>.





O'HARA, Cathal et al. "An Evaluation of ChatGPT for Nutrient Content Estimation from Meal Photographs." *Nutrients* vol. 17,4 607. 7 Feb. 2025, <https://doi.org/10.3390/nu17040607>

SOUZA, Suraia de Cássia Nasralla et al. O papel da manipulação genética na segurança alimentar: um olhar sobre a biotecnologia, o agronegócio e a biossegurança. *Revista DCS*, [S. l.], v. 22, n. 83, p. e3546, 2025. <https://doi.org/10.54899/dcs.v22i83.3546>

WANG, Ke et al. Advancing food safety behavior with AI: Innovations and opportunities in the food manufacturing sector, *Trends in Food Science & Technology*, Volume 161, 2025, 105050, ISSN 0924-2244, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2025.105050>.



Desenvolvimento e análise sensorial de um produto alimentício vegano à base de leguminosas

Francieli Dalcanton

Universidade Comunitária da Região de Chapecó - Unochapecó

Eduarda Otto

Universidade Comunitária da Região de Chapecó – Unochapecó

Laís Regina Mazon

Universidade Comunitária da Região de Chapecó – Unochapecó

Vanessa Canalli

Universidade Comunitária da Região de Chapecó – Unochapecó

Caroline Tombini

Universidade Comunitária da Região de Chapecó – Unochapecó

Cristiano Reschke Lajús

Universidade Comunitária da Região de Chapecó - Unochapecó

Francisco Machado Junior

Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

RESUMO

O consumo vegano está se tornando cada vez mais comum na atualidade. Veganismo é um modo de vida que busca eliminar todas as maneiras de exploração e consumo de produtos de origem animal. O consumidor está mais exigente e consciente do compromisso com o planeta e com a causa do sofrimento animal, diante disso, vem pressionando alternativas mais humanizadas e sustentáveis, em substituição aos modelos de produção. O conhecimento dos grupos de alimentos é fundamental para satisfazer as necessidades nutricionais desses adeptos. Os cereais e leguminosas são excelentes substitutos para as carnes, pode-se atingir a necessidade nutricional por meio desses alimentos, pois apresentam proteínas, fibras alimentares e demais nutrientes em sua composição. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi elaborar e analisar sensorialmente um hambúrguer plant-based, à base de feijão e beterraba. A formulação foi definida com testes sensoriais realizados pelos integrantes do grupo. As etapas de produção consistem respectivamente por pesagem da matéria prima, cozimento do feijão, moagem ou trituração, mistura, moldagem, embalagem, congelamento. A pesquisa contou com a participação de 50 avaliadores não treinados, realizou-se o teste de aceitabilidade sensorial através, da escala hedônica de 9 pontos, com opções de gostei muitíssimo (9) a desgostei muitíssimo (1), com o objetivo de avaliação dos atributos de aparência, odor, sabor, cor, textura e impressão global. Para o teste de intenção de compra aplicou-se uma escala hedônica de 5 pontos, de certamente compraria (5) a certamente não compraria (1). Diante das





avaliações, todos os atributos sensoriais apresentaram notas médias acima de 6 (gostei ligeiramente). O atributo que mais agradou os provadores foi o odor, com nota média igual a 8 (gostei muito). A intenção positiva de compra contou com 58% dos avaliadores marcando as opções de certamente compraria ou provavelmente compraria, sendo a maior parte dos participantes. A análise sensorial com o hambúrguer plant-based desenvolvido neste estudo, obteve resultados satisfatórios e promissores na área, sendo considerado uma boa alternativa para o consumo e mais uma variedade na dieta dos consumidores. As leguminosas e cereais mostram-se como grandes aliados na criação de produtos plant-based, fornecendo estrutura e nutrientes para a alimentação humana.

Palavras-chave: Veganismo, Leguminosas, Cereais.

ABSTRACT

Vegan consumption is becoming increasingly common today. Veganism is a way of life that seeks to eliminate all forms of exploitation and consumption of products of animal origin. Consumers are more demanding and aware of their commitment to the planet and the cause of animal suffering, and are therefore pressing for more humanized and sustainable alternatives to replace production models. Knowledge of food groups is essential to meet the nutritional needs of these fans. Cereals and legumes are excellent substitutes for meat, nutritional needs can be met through these foods, as they contain proteins, dietary fiber and other nutrients in their composition. In this sense, the objective of this study was to develop and sensorially analyze a plant-based burger, made from beans and beetroot. The formulation was defined with sensory tests carried out by group members. The production stages consist respectively of weighing the raw material, cooking the beans, grinding or shredding, mixing, molding, packaging, freezing. The research had the participation of 50 untrained evaluators, the sensory acceptability test was carried out using the 9-point hedonic scale, with options from very much liked (9) to very much disliked (1), in favor of evaluating the attributes appearance, odor, flavor, color, texture and overall impression. For the purchase intention test, a 5-point hedonic scale was applied, from certainly would buy (5) to certainly would not buy (1). In view of the evaluations, all sensorial attributes presented average scores above 6 (I liked it slightly). The attribute that pleased the tasters most was the odor, with an average score of 8 (I really liked it). The positive purchase intention had 58% of evaluators marking the options of would certainly buy or probably would buy, being the majority of participants. The sensory analysis with the plant-based burger developed in this study obtained satisfactory and promising results in the area, being considered a good alternative for consumption and another variety in the consumers' diet. Legumes and cereals are great allies in the creation of plant-based products, providing structure and nutrients for human nutrition.

Keywords: Veganism, Legumes, Cereals.





Introdução

O veganismo é um modo de vida que procura excluir, na medida do possível e praticável, todas as formas de exploração e crueldade com os animais para a alimentação, vestuário ou qualquer outro tipo de produto/consumo oriundo de animais. Os veganos não consomem nenhum alimento de origem animal, como carnes, laticínios, ovos e mel (Souza, 2015).

O consumo vegano tem crescido de forma expressiva nos últimos anos, refletindo mudanças nos hábitos alimentares e na consciência ambiental e ética da sociedade. Esse movimento se alinha a preocupações com saúde, sustentabilidade ambiental e bem-estar animal, além de ser impulsionado por inovações no mercado de produtos veganos e pela crescente disponibilidade de informações sobre os impactos das dietas tradicionais (Schneider *et al*, 2018).

Segundo o IBOPE Inteligência (2018), aproximadamente 14% da população brasileira se declarava vegetariana, representando um crescimento de 75% quando comparado a 2012, ano em que esse percentual era de 8%.

A adoção de dieta vegetariana tem sido associada a diversos benefícios para a saúde da população humana, como baixas concentrações de lipídios séricos, baixos níveis de adiposidade corporal e baixa incidência de mortes por isquemia do miocárdio, diabetes mellitus e certos tipos de câncer, além de uma maior expectativa de vida (Ferreira, 2006).

Os vegetarianos devem conhecer os grupos de alimentos e aprender a combiná-los para a melhor obtenção de nutrientes. Todos os outros nutrientes podem ser adequadamente supridos com uma alimentação bem planejada. Os estudos populacionais mostram que, de forma geral, os vegetarianos ingerem mais nutrientes (vitaminas e minerais) do que os não vegetarianos (Slywitch *et al*, 2018).

Para Chorfi e Scheid (2008) os nutrientes tornam-se parte integrante do corpo, contribuindo para obtenção de energia e função dos processos fisiológicos e bioquímicos, devendo fornecer quantidades suficientes de nutrientes para atender as necessidades nutricionais dos indivíduos saudáveis para não somente satisfazer suas necessidades fisiológicas, mas também prover deficiências de vitaminas e minerais.

O cardápio do vegetariano deve incluir alimentos ricos em zinco, ferro, cálcio, vitamina B12 e gorduras do tipo ômega-3. Se a exposição solar não for adequada (para vegetarianos ou não), deve haver complementação de vitamina D com alimentos fortificados ou suplementos. Apesar de muito comentada, a proteína não é fator preocupante na dieta vegetariana. Se a pessoa supre sua necessidade calórica com alimentos baseados em cereais e leguminosas, a cota proteica com todos os aminoácidos essenciais é atingida automaticamente (Slywitch *et al*, 2018).

As leguminosas são as substitutas ideais para as carnes, isso inclui grão-de-bico, ervilhas, lentilhas, favas, soja e todos os tipos de feijão. Por serem mais nutritivas e ricas em proteínas, são escolhas mais adequadas do que a PVT (proteína vegetal texturizada), popularmente conhecida como carne de soja. Os cereais (arroz) e as leguminosas (feijões) contêm todos os aminoácidos essenciais, mas em proporções diferentes, por isso é interessante consumir cereais e leguminosas diariamente. Não precisam estar na mesma refeição, mas é bom que sejam ingeridos no mesmo dia (Slywitch *et al*, 2018).

Grupos alimentares podem ser divididos em: cereais, leguminosas, oleaginosas, amiláceos, verduras, frutas e óleos. A Figura 1 mostra alguns alimentos utilizados em uma dieta vegana e seus teores de calorias, proteína, ferro, cálcio e zinco.





Figura 1 - Teor de nutrientes em 100 g do alimento

ALIMENTO	TEOR DE NUTRIENTES EM 100 G DO ALIMENTO				
	CALORIAS (kcal)	PROTEÍNA (g)	FERRO (mg)	CÁLCIO (mg)	ZINCO (mg)
CEREAIS (CRUS)					
Aveia em flocos	394	14,00	4,72	54	3,97
Quinoa em grãos	374	13,10	9,25	60	3,30
Milho	365	9,42	2,71	7	2,21
Arroz integral	359	8,00	1,00	7	1,30
LEGUMINOSAS (CRUAS)					
Ervilha	341	24,54	4,43	55	3,01
Feijão branco	333	23,36	10,44	240	3,67
Lentilha	347	23,00	7,00	54	3,50
Grão-de-bico	387	22,38	6,86	105	2,81
Feijão preto	331	21,00	6,50	111	2,90
Feijão carioca	336	20,00	8,00	123	2,90
Tofu (com sulfato de cálcio)	76	8,00	5,36	350	0,80
OLEAGINOSAS					
Amêndoa	578	21,26	4,30	248	3,36
Castanha de caju	574	15,31	6,00	45	5,60
Amendoim	567	25,70	4,58	92	3,27
Noz pecã	691	9,17	2,53	70	4,53
Gergelim	567	18,29	7,78	131	10,23
Girassol	570	22,78	6,73	116	5,06
VERDURAS					
Brócolis (cru)	25	4,00	0,60	86	0,50
Agrião (cru)	17	3,00	3,10	133	0,70
Mostarda (crua)	26	2,70	1,40	103	0,22
Rúcula (crua)	25	2,58	1,46	160	0,47
Couve (crua)	30	2,45	0,19	145	0,13
Alface lisa (crua)	14	2,00	0,60	28	0,30
Escarola (crua)	23	1,70	0,90	100	0,42

Fonte: Slywitch *et al*, 2018

O conhecimento da composição nutricional dos alimentos é fundamental para se avaliarem a disponibilidade de nutrientes e o seu consumo por populações, além de verificar a adequação nutricional da dieta, identificar o estado nutricional, desenvolver pesquisas sobre as relações entre dieta e doença, no planejamento agropecuário e na indústria de alimentos, entre outros. Entretanto, pelas suas dimensões continentais, nosso País possui ainda uma infinidade de alimentos, principalmente de origem vegetal, que devem ser mais bem caracterizados (Núcleo de Estudos e Pesquisa em Alimentação, 2004).

Neste sentido, desenvolver novos produtos, seja para suprir as necessidades de um grupo específico ou para aumentar a variedade na dieta do consumidor é de extrema importância. Valorizar ingredientes nacionais e trazer a proteína de forma diferenciada faz com se aumente a disponibilidade de nutrientes e se complemente diferentes dietas. Além disso, a indústria alimentícia vem utilizando fontes alternativas com o intuito de fornecer produtos mais saudáveis e ricos em proteínas ao mercado consumidor. Dessa forma, esse trabalho teve como objetivo elaborar um produto alimentício vegano utilizando leguminosas como principal matéria-prima e verificar a aceitação do produto vegano realizando testes sensoriais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados nos laboratórios de Bromatologia de Alimentos, Tecnologia de Alimentos, Operações Unitárias I e Análise Sensorial da Universidade Comunitária da Região de Chapecó (Unochapecó), Chapecó, Santa Catarina.





2.1 Determinação do perfil do consumidor

Determinou-se o perfil do consumidor, após a aprovação do Comitê de Ética da Instituição, por meio de um questionário contendo 18 questões objetivas e descritivas sobre o perfil sociodemográfico e hábitos de consumo vegano, sendo disponibilizado em plataforma online (Google Forms®) via e-mail interno da Unochapecó e grupos de *WhatsApp*.

2.2 Formulação do Hambúrguer Vegano

Os hambúrgueres foram elaborados no Laboratório de Tecnologia de Alimentos da Universidade Comunitária da Região de Chapecó – Unochapecó. A formulação encontra-se apresentada na Tabela 1. Os ingredientes foram adquiridos no comércio local da cidade de Chapecó – SC. As quantidades descritas na tabela resultaram em 18 porções de aproximadamente 35 g cada.

Tabela 1. Formulação do Hambúrguer Vegano

Ingredientes	Quantidades	Unidade	Marca
Feijão preto	250	g	Camil
Beterraba	150	g	-
Tofu ralado	50	g	Samurai
Farinha de mandioca	42,5	g	Pinduca
Farinha de aveia	42,5	g	Naturale
Proteína de ervilha	25	g	Growth
Shoyu	25	ml	Sakura
Azeite de oliva	25	ml	Andorinha
Cebola em pó	10	g	Foco alternativo
Alho desidratado	5	g	Kitano
Sal iodado	2,3	g	Cisne
Chia	2	g	Q-vita
Louro	1,5	g	Apti
Cominho	1	g	Foco alternativo
Açafrão	0,5	g	Kitano
Alecrim	0,5	g	Kitano
Pimenta preta	0,4	g	Apti

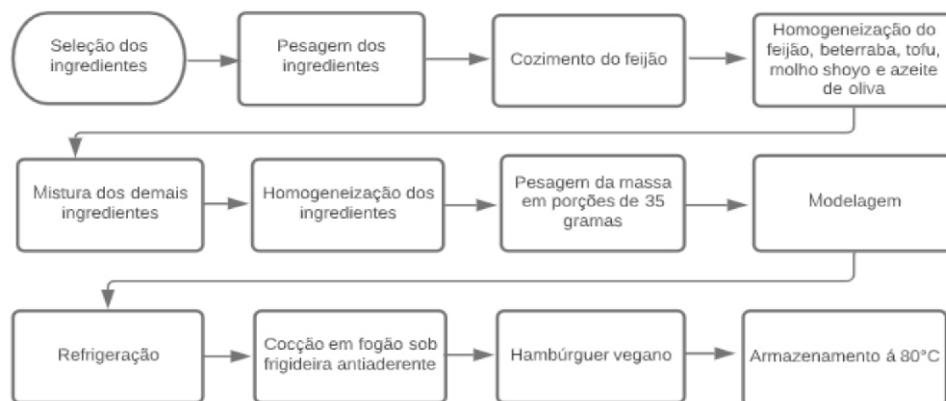
Fonte: Elaborado pelas autores (2023).





O processo de desenvolvimento da formulação dos hambúrgueres seguiu a metodologia apresentada no fluxograma da Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma de processamento do hambúrguer.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A produção dos hambúrgueres teve início com a seleção e pesagem dos ingredientes, em balança analítica (marca Marte, modelo A5 2000C), em seguida, realizou-se o cozimento do feijão em panela de pressão, por 20 minutos. Em um liquidificador industrial (marca SPOLU, modelo SPL - 049) adicionou-se o feijão cozido, beterraba, tofu, molho shoyu e o azeite de oliva, com o objetivo de trituração e mistura desses ingredientes. Fez-se a junção dessa massa com os demais insumos em uma bacia e misturou-se até completa homogeneização, conforme Figura 3.

Figura 3 – Massa do hambúrguer



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Pesou-se porções de 35 g, modelou-se os hambúrgueres e posteriormente armazenou-se em recipiente fechado, sob refrigeração em geladeira (marca Consul, modelo CRB36AB) à temperatura de 4 °C. Realizou-se a etapa de cocção minutos antes da análise sensorial. O processo de cocção ocorreu em fogão (marca Wanke, modelo 11350014) com auxílio de uma frigideira antiaderente, untada com azeite de oliva, com fogo médio, por 3 minutos, após essa etapa, foram armazenadas em um forno elétrico (marca Fischer, modelo 1323-5684), à temperatura de 80°C, para se manterem propícias ao teste sensorial.





2.3 Análise Sensorial

Para a análise sensorial e avaliação de intenção de compra, esse estudo foi submetido, diante da exigência do Conselho da Saúde, à apreciação ética pelo Comitê de Ética e Pesquisa em Seres Humanos pela Universidade Comunitária da Região de Chapecó - Unochapecó, via Plataforma Brasil, sendo aprovado pelo Comitê de Ética em seres humanos (CEP) com o número 48718621.4.0000.0116.

O público-alvo da pesquisa eram avaliadores não treinados, com idade acima de 18 anos, pertencentes à comunidade acadêmica da Unochapecó (Chapecó, SC, Brasil). Foi vetada a participação de pessoas que eram: gestante; lactante, diabético; portador de patologia que impeça a ingestão do alimento; usuário ao qual seja administrado medicamentos cuja ingestão seja incompatível com o consumo do alimento; alérgico a qualquer um dos componentes da formulação e portador de doença celíaca.

Após leitura e assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido da pesquisa (TCLE), os participantes (50 pessoas) preencheram um questionário online (Google forms®) contendo 9 questões objetivas e descritivas com perguntas pessoais e hábitos de consumo vegano, identificando o gênero dos provadores, frequência de consumo de produtos veganos, além de motivações para compra desses alimentos.

A análise sensorial do produto elaborado foi realizada através das respostas subjetivas ou afetivas às perguntas aplicadas a avaliadores não treinados, pois se espera respostas resultantes da reação espontânea do provador. Para a análise serviu-se a cada participante na cabine sensorial, uma amostra de 35 g de hambúrguer, situada em um prato, juntamente com guardanapo, faca e garfo descartáveis, para a limpeza do paladar forneceu-se um copo com água e bolacha água e sal, em cabines sensoriais, com presença de luz branca.

Em seguida, realizou-se a aplicação do teste de aceitabilidade dos atributos de aparência, aroma, sabor, textura e impressão global, com escala hedônica de 9 (nove) pontos (desgostei muitíssimo à gostei muitíssimo) e intenção de compra. A análise de intenção de compra apresentava escala hedônica de 5 pontos (certamente compraria este produto à certamente não compraria este produto) (Dutcosky, 2011).

Os participantes tinham a opção de inserir comentários e/ou observações na ficha de avaliação sobre as características das amostras.

A partir dos resultados da avaliação por escala hedônica foi possível determinar o Índice de Aceitabilidade (IA), através da Equação 1 (Teixeira, *et al*, 1987).

$$IA \% = A \times \frac{100}{B} \quad (1)$$

Sendo:

A = nota média de cada atributo da escala hedônica obtida para a amostra;

B = nota máxima dada para cada atributo da amostra.

Realizou-se um questionário pós análise sensorial do hambúrguer vegano, contendo 3 questões objetivas e descritivas, para avaliação do comparativo entre o hambúrguer de leguminosas e o hambúrguer de carne, para avaliar se o hambúrguer vegano apresentava semelhanças a um hambúrguer de carne quanto aos atributos sensoriais, com escala hedônica de 5 pontos (muito semelhante à não é semelhante) e se trocaria o hambúrguer tradicional de carne por este hambúrguer de leguminosas.





3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Determinação do perfil do consumidor

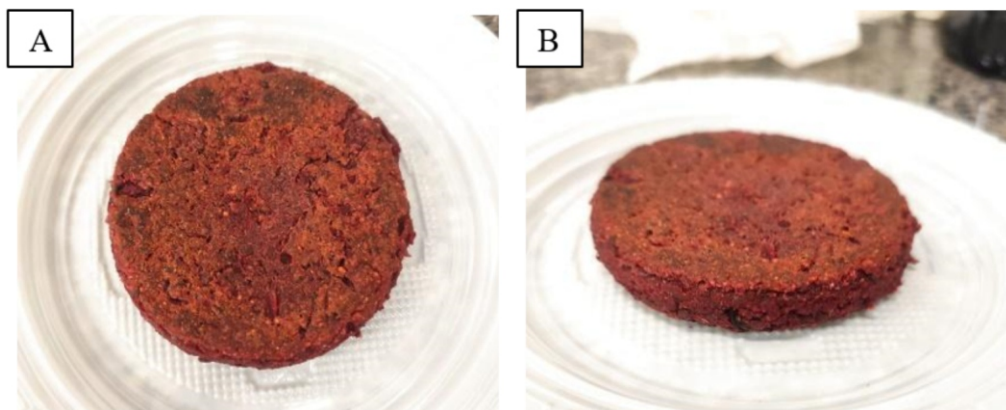
Determinou-se o perfil do consumidor por meio de um questionário de 18 perguntas objetivas e descritivas, contendo 440 participantes. Em relação ao perfil, estes eram compostos em sua maioria por pessoas do sexo feminino, apresentando 69,1%, a faixa etária predominante foi de 21 à 25 anos, sendo 28,2%, seguida por 26 à 35 anos com 23,9%.

Diante do propósito da pesquisa em desenvolver um hambúrguer vegano, quando questionados se gostavam de consumir hambúrgueres, 93% responderam que sim e 40,2% consomem com frequência esporádica. Com relação ao veganismo, perguntou se sabiam diferenciar um alimento vegano de um não vegano e 70,1% sabiam distinguir.

3.2 Formulação do Hambúrguer Vegano

Os ingredientes utilizados na formulação do hambúrguer foram definidos com o intuito de elaborar um produto vegano com aspecto sensorial aceitável, nutritivo, saudável e com ingredientes isentos de ultra processamento, disponibilizando mais uma opção de consumo à população. Após a realização das etapas de produção, o produto final obtido está apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Produto pronto para servir na análise sensorial. A) Comprimento; B) Espessura.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

O hambúrguer obteve aparência pastosa, rosada, com pedaços de beterraba, apresentando aspecto empanado, tostado, textura macia, odor e sabor terroso, herbáceo e aliáceo.

3.2 Análise Sensorial

Para determinação do perfil dos provadores foi aplicado um formulário que demonstrou que o público participante da pesquisa em sua maioria pertenciam ao gênero feminino, representando 74,5% do total. Em relação à faixa etária, o maior número de participantes foi a de 18 à 22 anos, equivalente a 34,5% dos provadores, seguida da faixa dos 23 a 25 anos, com 25,5%.

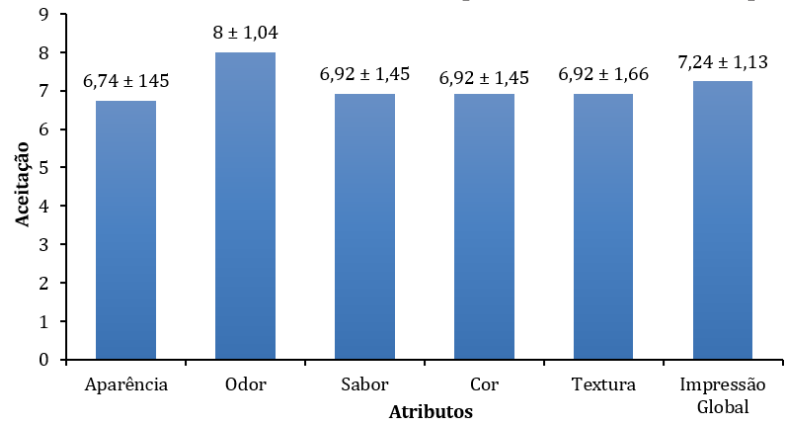




Quando questionados se possuíam o hábito de consumir alimentos veganos/vegetarianos, 54,5% responderam que sim, com frequência de consumo inferior a uma vez por mês, sendo 29,1% e 23,6% de consumo esporádico. Em relação à motivação pelo consumo vegano, 50,9% dos avaliadores responderam que o principal motivo é a saudabilidade. Ao serem perguntados sobre a maior dificuldade de consumo destes alimentos, para 41,2% é a falta de produtos no mercado e para 35,3% o preço.

Através da análise sensorial por escala hedônica de 9 pontos, cujos resultados estão apresentados na Figura 5, observou-se que todos os atributos sensoriais apresentaram notas médias acima de 6, ou seja, gostei ligeiramente. O atributo que mais agradou os provadores foi o odor, com nota média igual a $8 \pm 1,04$ (gostei muito), seguido pela impressão global ($7,24 \pm 1,13$), a aparência obteve a menor pontuação entre os avaliadores com ($6,74 \pm 1,45$).

Figura 5 - Avaliação dos atributos sensoriais por escala hedônica de 9 pontos.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A partir da avaliação dos atributos do hambúrguer, foi possível calcular o percentual do índice de aceitabilidade, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Índice de aceitabilidade do Hambúrguer Vegano.

Atributos	IA (%)
Aparência	74,89
Odor	88,89
Sabor	76,89
Cor	76,89
Textura	76,89
Impressão Global	80,44

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

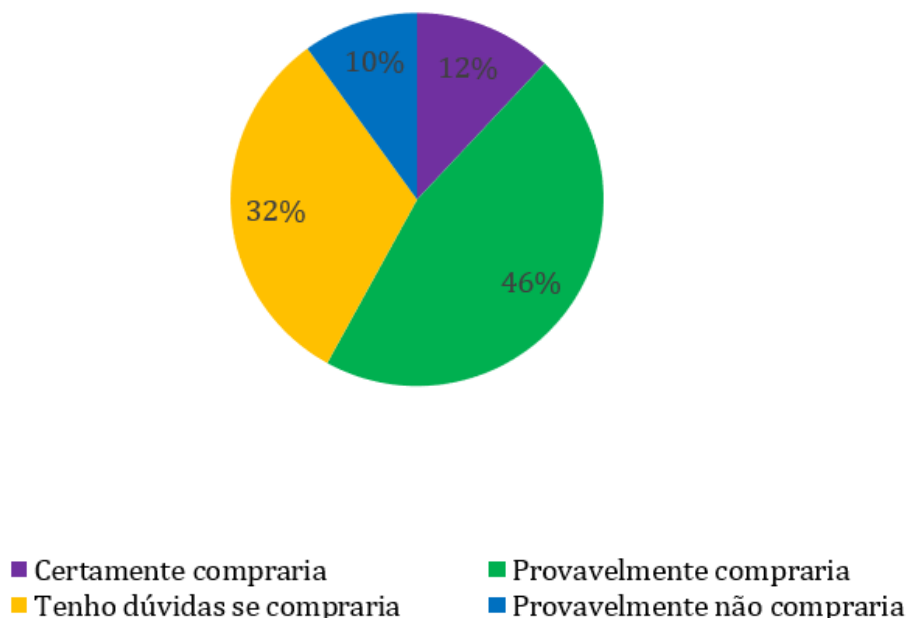
Para que um produto seja considerado aceito sensorialmente, é importante que ele obtenha um índice de aceitabilidade de no mínimo 70% (Teixeira, 2009). O hambúrguer elaborado apresentou aceitação superior ao mínimo exigido, apresentando resultado satisfatório.





A intenção positiva de compra contou com 58% dos avaliadores marcando as opções de certamente compraria ou provavelmente compraria o produto analisado, sendo esta a maior porcentagem dos participantes. Os demais participantes ficaram entre as opções de tenho dúvida se compraria com 32%, 10% provavelmente não comprariam, e nenhum participante respondeu na opção de certamente não compraria, conforme elencado na Figura 6.

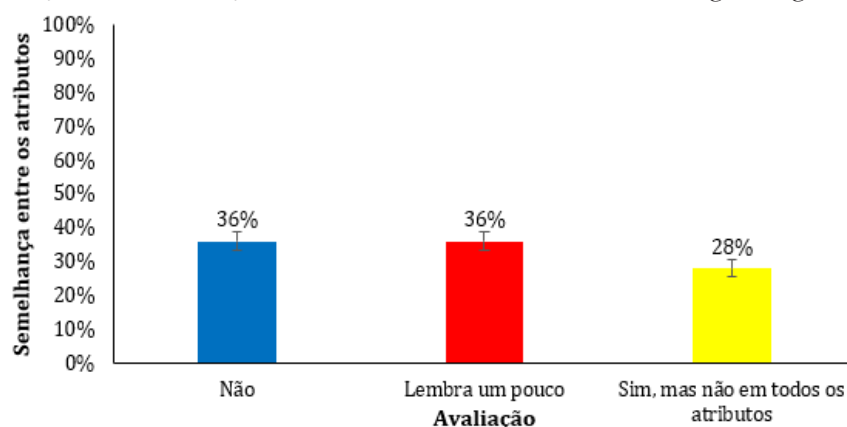
Figura 6 - Avaliação da análise de intenção de compra por escala hedônica de 5 pontos.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

No questionário pós análise sensorial do hambúrguer vegano, quando perguntados em relação à expectativa ao provar o hambúrguer de leguminosas, se esperava gosto similar ao hambúrguer tradicional de carne, 80% dos entrevistados responderam que não e 20% na opção sim. Em relação à semelhança dos atributos sensoriais como aparência, cor, odor, sabor, textura e impressão global do hambúrguer avaliado sensorialmente em relação à hambúrguer tradicional, 36% responderam que não tem semelhança, 36% lembra um pouco e 28% responderam que lembra, mas não em todos os atributos, conforme elencado na Figura 7.

Figura 7 - Avaliação da semelhança dos atributos sensoriais entre o hamburger vegano e tradicional.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).





Com relação ao grau de semelhança dos atributos sensoriais comparando os hambúrgueres, diante de uma escala de 5 pontos (muito semelhante à pouco semelhante), os atributos de aparência, odor, sabor e impressão global obtiveram média de 3 pontos (semelhança intermediária), já os demais atributos apresentaram média de 2 pontos (pouco semelhante), conforme Tabela 3.

Tabela 3. Grau de semelhança entre o hambúrguer vegano e tradicional.

Atributos	Média
Aparência	3
Odor	3
Sabor	3
Cor	2
Textura	2
Impressão Global	3

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Quando perguntados se trocariam um hambúrguer tradicional por um hambúrguer vegano, 46% dos avaliadores responderam a opção de que em algumas refeições trocariam, mas que continuariam consumindo o tradicional, 22% optariam pelo vegano, 22% talvez e somente 10 % marcaram a opção de que não trocariam.

É válido considerar que, apesar de ser um produto que pode ser consumido por todos, esse hambúrguer tem como público-alvo pessoas que possuem hábito alimentar vegano ou vegetariano e uma análise sensorial realizada apenas por avaliadores pertencentes a esse grupo possivelmente obterá um perfil de respostas diferenciado.

CONCLUSÃO

O hambúrguer *plant-based* desenvolvido neste estudo, obteve resultados sensoriais satisfatórios e promissores na área, sendo considerado uma boa alternativa para o consumo e mais uma variedade na dieta dos consumidores. As leguminosas e cereais mostram-se como grandes aliados na criação de produtos *plant-based*, fornecendo estrutura e nutrientes para a alimentação humana.





REFERÊNCIAS

CHORFI, K. D. B.; SCHEID, M. M. A. Avaliação dos hábitos alimentares de vegetarianos. CONGRESSO INIC/EPG – UNIVAP, 12., 2008, São José dos Campos. UNIVAP, 2008.

DUTCOSKY, S. D. Análise sensorial de alimentos. 3. ed. Curitiba: Champagnat, 2011.

FERREIRA, L. G.; BURINI, R. C.; MAIA, A. F. Dietas vegetarianas e desempenho esportivo. Revista de Nutrição, Campinas, v. 19, n. 4, p. 469–477, jul./ago. 2006.

IBOPE INTELIGÊNCIA; SOCIEDADE VEGETARIANA BRASILEIRA (SVB). Pesquisa de opinião pública sobre vegetarianismo — Pesquisa do IBOPE aponta crescimento histórico no número de vegetarianos no Brasil. São Paulo, 2018.

NÚCLEO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ALIMENTAÇÃO. Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO. 1. ed. Campinas: NEPA-UNICAMP, 2004.

SCHNEIDER, A. D.; SILVA, L. X. da. Consumidor vegano: uma análise de variáveis que definem seu perfil e suas motivações. 2018.

SLYWITCH, E.; SOCIEDADE VEGETARIANA BRASILEIRA (SVB). Tudo o que você precisa saber sobre alimentação vegetariana. São Paulo: Sociedade Vegetariana Brasileira, 2011.

SOUZA, W. A. Benefícios da dieta vegana para a saúde. Revista Vida & Saúde Vegana, n. 6, p. 10–13, 2015.



SAÚDE, CIÊNCIA E AMBIENTE: UMA VISÃO BASEADA EM EVIDÊNCIAS

APRESENTAÇÃO DOS
ORGANIZADORES
E AUTORES



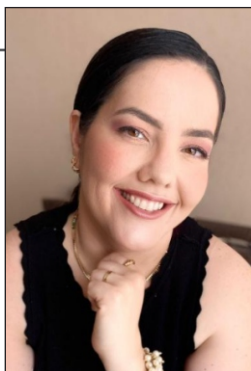
Compartilhando conhecimento

APRESENTAÇÃO DAS ORGANIZADORAS



VERIDIANA ALMEIDA FLORES DE OLIVEIRA

Doutoranda em Ciências da Saúde pela UEM, Mestre em Ciência de Alimentos e graduanda em Farmácia. Sua pesquisa está focada na toxicologia ambiental, com ênfase na avaliação de risco de contaminantes em cosméticos, avaliando os impactos desses ingredientes na saúde humana e no meio ambiente.



CAROLINE WOLF TRENTINI SCHIPFER

Formada em Tecnologia de Alimentos pela UTFPR. Atualmente, sou responsável pelo setor de Qualidade na Sipironelli, onde asseguro o cumprimento das normas sanitárias, o controle de processos e a manutenção dos padrões de qualidade dos produtos.

MARCIELE ALVES BOLOGNESE

Doutora em Ciência de Alimentos (UEM), Mestre em Promoção da Saúde e especialista em Nutrição Oncológica. Membro da SBNO, com experiência em Terapia Nutricional nas Doenças Crônicas não Transmissíveis (Hospital Israelita Albert Einstein). Integrante dos grupos de pesquisa em Nutrição e Dietas Enterais (UEM) e APLE-A (UEM). Docente do curso de Nutrição do Centro Integrado de Campo Mourão.



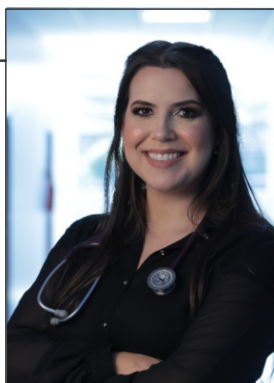
APRESENTAÇÃO DOS AUTORES



AMANDA TATIANE CORREA PEREIRA DOS SANTOS

Formada em Tecnologia de Alimentos pela UTFPR. Atualmente, sou responsável pelo setor de Qualidade na Sipironelli, onde asseguro o cumprimento das normas sanitárias, o controle de processos e a manutenção dos padrões de qualidade dos produtos.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3001-1798>
Currículo Lattes: <https://lattes.cnpq.br/7961479018987770>
email: amandatatiane@alunos.utfpr.edu.br



ANNE CAROLINE BORESKE DOS SANTOS

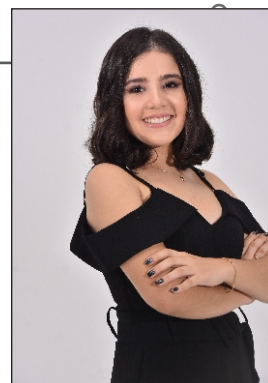
Médica clínico geral, Pós graduanda em urgência e emergência pela Uninter. Pós graduanda em ultrassonografia geral pelo instituto Leal. Atuando nas áreas de Clínica médica, pediatria, urgência e emergência. Pós Graduação em urgencia e emergencia pela Universidad Sudamericana - PY -

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7110-9401?lang=pt>
Currículo Lattes: <https://lattes.cnpq.br/2332534957757521>
E-mail institucional: carolboreski@gmail.com

CAMILA FERREIRA AMARAL PREVIATO

Doutoranda em Ciências da Saúde pela Universidade Estadual de Maringá (UEM), Mestre em Ciências da Saúde e Farmacêutica pela UEM. Atua com foco em Farmacologia e Terapêutica com ênfase em inflamação. Busca por novos compostos, principalmente terpenos que possam atuar na inflamação aguda e crônica.

ORCID: [0000-0003-1031-3708]
Currículo Lattes: [<http://lattes.cnpq.br/3100948099922882>]
E-mail: camilaamaralpreviato@gmail.com



APRESENTAÇÃO DOS AUTORES



ELIENAE DA SILVA GOMES

Doutora em Ciência de Alimentos pela Universidade Estadual de Maringá - UEM. Desenvolvimento em pesquisas sobre alimentos funcionais, leite humano e componentes bioativos, com foco na promoção da saúde baseada em evidências científicas.



ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4657-4459>

Currículo Lattes: <https://lattes.cnpq.br/6980093890614715>

E-mail: elienae2108@gmail.com



EMILLY BRITO FERREIRA

Doutoranda em Biociências e Fisiopatologia. Farmacêutica e mestre em Ciência de Alimentos pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Desenvolve pesquisas na área de microbiologia ambiental e de alimentos, com ênfase em segurança hídrica e no monitoramento microbiológico da qualidade da água.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9851-0993>

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8884396577579538>

E-mail: emillybbferreira@gmail.com

FRANCIELI DALCANTON

Francieli Dalcanton é professora dos cursos de Engenharia de Alimentos, Engenharia Química e do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Tecnologia e Gestão da Inovação da Universidade Comunitária da Região de Chapecó (Unochapecó). Possui graduação em Engenharia de Alimentos pela Fundação Universidade Federal do Rio Grande (FURG) (2003), mestrado em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) (2006) e doutorado em Engenharia de Alimentos pela mesma instituição, com período de doutorado sanduíche na Universidad de Córdoba, Espanha, no Departamento de Bromatologia e Tecnologia de Alimentos (2010). Atua nas áreas de Engenharia, Ciência e Tecnologia de Alimentos, com ênfase em valorização de resíduos agroindustriais, upcycling de alimentos, desenvolvimento de produtos, gestão da qualidade, filosofia Lean, Produção Mais Limpa (P+L), microbiologia preditiva e encapsulamento de óleos essenciais com atividade antimicrobiana



E-mail: fdalcanton@unochapeco.edu.br

APRESENTAÇÃO DOS AUTORES



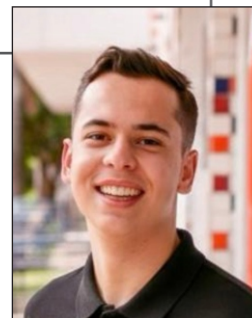
FELIPE HENRIQUE MARROCCO PATRÍCIO

Farmacêutico clínico, mestrando em Ciências Farmacêuticas pela UEM, com especialização em Farmácia Clínica e Prescrição Farmacêutica e MBA em Gestão de Pessoas. Atua na saúde baseada em evidências, com ênfase no uso racional de medicamentos e no estudo de produtos naturais, incluindo extratos, frações e substâncias isoladas, aplicados à pesquisa em saúde.

ORCID: 0009-0005-6805-9089

Curriculum Lattes: <https://lattes.cnpq.br/2050823783401951>

E-mail institucional: felipehenriquemp55@gmail.com



ISABELA CAROLINA FERREIRA DA SILVA

Doutoranda em Ciência de Alimentos e mestre em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Especialista em Gestão da Qualidade e Tecnologia de Alimentos pelo Instituto Federal do Paraná (IFPR). Graduada em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Atua no desenvolvimento de novos produtos e na investigação de compostos bioativos, com ênfase em antioxidantes.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3680-8353>

Curriculum Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1480747418757728>

E-mail: isabelacfes@gmail.com



JULIE SUZAN DA SILVA

Doutoranda em Ciência de Alimentos e Mestrado em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Maringá (UEM), bacharel em Engenharia de Alimentos (UEM). Sua pesquisa está focada em secagem, com ênfase em secagem em leito de espuma, avaliando o efeito da técnica em produtos alimentícios, também possui ênfase em desenvolvimento de novos produtos alimentares plant-based.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9258-5404>

Curriculum Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9411675400714953>

E-mail institucional: pg406152@uem.br



APRESENTAÇÃO DOS AUTORES



LUANA CRUZ MUXFELDT

Nutricionista, Doutoranda em Ciências de Alimentos pela Universidade Estadual de Maringá (UEM) e Mestra em Ciência de Alimentos. Atua com foco em nutrição funcional e saúde intestinal. Atualmente é professora substituta na área de Nutrição Clínica na Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5980-6020>
Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1113170705230078>
E-mail: luanacmuxfeldt@gmail.com (UFFS).



LYRIEL DE OLIVEIRA SANTOS

Biomédica pelo Centro Universitário Ingá - Uningá e Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Biociências e Fisiopatologia da Universidade Estadual de Maringá - UEM. Atua no campo de pesquisa da toxicologia ocupacional, com ênfase em comunicação em saúde, monitoramento das populações expostas a agrotóxicos e saúde do trabalhador rural.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2294-2361>
Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7216574914460574>
E-mail: lyrieoliveira96@gmail.com



MARCIELE ALVES BOLOGNESE

Doutora e Pós-doutora em Ciência de Alimentos pela Universidade Estadual de Maringá - UEM, Mestre em Promoção da Saúde e especialista em Nutrição Oncológica. Membro da SBNO, com experiência em Terapia Nutricional nas Doenças Crônicas não Transmissíveis (Hospital Israelita Albert Einstein). Integrante dos grupos de pesquisa em Nutrição e Dietas Enterais (UEM) e APLE-A (UEM). Docente do curso de Nutrição do Centro Integrado de Campo Mourão.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3417-9566>
Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4720285806997579>
E-mail: clinicabolognese@gmail.com



APRESENTAÇÃO DOS AUTORES



NATALIA SANTOS PRETES

Biomédica, especialista em Análises Clínicas, Imagenologia e Estética Avançada. Mestre em Ciência de Alimentos com ênfase em toxicologia e microbiologia de alimentos. Doutoranda em Ciência de Alimentos. Professora Universitária.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8990-5460>
Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6599004211370298>
E-mail institucional: pg55783@uem.br



PABLO RICARDO SANCHES DE OLIVEIRA



Mestre em Ciência de Alimentos pela UEM, com especialização em Microbiologia e graduação em Biomedicina (Unicesumar). Atualmente, doutorando no PPG em Ciência de Alimentos da UEM, com pesquisas focadas em Microbiologia e Segurança Alimentar, especialmente na utilização de produtos naturais e bioprodutos antimicrobianos.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2380-3506>
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0729745583919148>

RITA DE CÁSSIA DUTRA

Especialista em Farmácia Clínica e Hospitalar, graduada em Farmácia pela Uningá. Atualmente, mestranda em Toxicologia na USP-Ribeirão Preto, com projeto focado na validação de método para biomonitoramento em saúde ocupacional, com ênfase em agrotóxicos.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1698-3611>
Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1963223605870220>
E-mail institucional: cassiadutra@usp.br



APRESENTAÇÃO DOS AUTORES



SIMONE MARIA ALTOÉ PORTO

Doutoranda em Ciências de Alimentos.
Programa de Pós-Graduação em ciências de alimentos - UEM

Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-8182-9199>
Curriculum Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6965632480226085>
E-mail: simaltoe@gmail.com



TAINÁ BRAGANHOLI

Especialista em Imaginologia. Mestranda em Promoção da Saúde. UniCesumar - PPGPS - Programa de pós-graduação strictu sensu em Promoção da Saúde.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0656-062X>
Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4987210699319910>
E-mail institucional: taina_braganholi@hotmail.com

VERIDIANA ALMEIDA FLORES DE OLIVEIRA

Doutoranda em Ciências da Saúde pela UEM, Mestre em Ciência de Alimentos e graduanda em Farmácia. Sua pesquisa está focada na toxicologia ambiental, com ênfase na avaliação de risco de contaminantes em cosméticos, avaliando os impactos desses ingredientes na saúde humana e no meio ambiente.
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1933-4682>
Lattes: <https://lattes.cnpq.br/3027227842747506>
E-mail: veridiana.oliveira@uem.br



SAÚDE, CIÊNCIA E AMBIENTE: UMA VISÃO BASEADA EM EVIDÊNCIAS



<https://www.facebook.com/Synapse-Editora-111777697257115>



<https://www.instagram.com/synapseeditora>



<https://www.linkedin.com/in/synapse-editora-compartilhando-conhecimento/>



31 98264-1586



editorasynapse@gmail.com



Compartilhando conhecimento