



VOLUME 04

LUCIANO JOSÉ QUINTÃO TEIXEIRA
RAQUEL VIEIRA CARVALHO
CONSUELO DOMENICI ROBERTO
(org.)

Ciência e tecnologia de alimentos para a inovação e desenvolvimento sustentável



Esta obra foi selecionada para integrar a “Coleção Pesquisa Ufes II”, a partir de Chamada Pública feita pela Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PRPPG) da Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes) aos programas de pós-graduação da universidade.

A seleção teve por base pareceres que consideraram critérios de inovação, relevância e impacto.

O financiamento da Coleção foi viabilizado por meio do Programa de Apoio à Pós-Graduação (Proap) da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e de recursos do Tesouro Nacional.



**Universidade Federal
do Espírito Santo**



Editora Universitária – Edufes

Filiada à Associação Brasileira
das Editoras Universitárias (Abeu)

Av. Fernando Ferrari, 514
Campus de Goiabeiras
Vitória – ES · Brasil
CEP 29075-910

+55 (27) 4009-7852
edufes@ufes.br
www.edufes.ufes.br

Reitor

Eustáquio Vinicius Ribeiro de Castro

Vice-reitora

Sonia Lopes Victor

Chefe de Gabinete

Ana Paula Santana de Vasconcellos Bittencourt

Diretor da Edufes

Wilberth Salgueiro

Conselho Editorial

Ananias Francisco Dias Junior, Fátima Maria Silva,
Gleice Pereira, José André Lourenço, Margarete
Sacht Góes, Othon Souto Campos, Paulo Rogerio
Garcez de Moura, Rodrigo de Alvarenga Rosa,
Rogério Borges de Oliveira, Rosana Suemi
Tokumaru, Sandra Soares Della Fonte, Sergio
Lins de Azevedo Vaz, Telma Elita Juliano Valente

Secretaria do Conselho Editorial

Douglas Salomão

Administrativo

Josias Bravim, Washington Romão dos Santos

Seção de Edição e Revisão de Textos

Fernanda Scopel, George Vianna,
Jussara Rodrigues, Roberta Estefânia Soares

Seção de Design

Juliana Braga, Samira Bolonha Gomes

Seção de Livraria e Comercialização

Adriani Raimondi, Ana Paula Rubim,
Dominique Piazzarollo, Marcos de Alarcão,
Maria Augusta Postinghel

Produção Cultural

Déborah Pinto Corrêa



Este trabalho atende às determinações do Repositório Institucional do Sistema Integrado de Bibliotecas da Ufes e está licenciado sob a Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional.

Para ver uma cópia desta licença, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Projeto gráfico

Willi Piske Junior

Samira Bolonha Gomes

Revisão de texto, diagramação e capa

AlS Comunicação e Estratégia

Imagem da capa gerada por Canva

obtida em <https://canva.com>.

Supervisão

Edufes

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (Editora Universitária – Edufes, ES, Brasil)

C569 Ciência e tecnologia de alimentos para a inovação e desenvolvimento sustentável [recurso eletrônico] / Luciano José Quintão Teixeira, Raquel Vieira Carvalho, Consuelo Domenici Roberto (org.). Dados eletrônicos. – Vitória, ES : Edufes, 2025.
298 p. : il.; PDF, 4 MB. - (Coleção Pesquisa Ufes II; 04)

Inclui bibliografia.

ISBN: 978-85-7772-653-0

Modo de Acesso: <https://repositorio.ufes.br/handle/10/774>

1. Ciência de alimentos. 2. Inovação. 3. Sustentabilidade. I. Teixeira, Luciano José Quintão. II. Carvalho, Raquel Vieira. III. Roberto, Consuelo Domenici. IV. Série.

CDU: 641

Elaborado por Ana Paula de Souza Rubim – CRB-6 ES 998-O

Esta obra foi composta com
a família tipográfica Crimson Text.

**LUCIANO JOSÉ QUINTÃO TEIXEIRA
RAQUEL VIEIRA CARVALHO
CONSUELO DOMENICI ROBERTO
(org.)**

Ciência e tecnologia de alimentos para a inovação e desenvolvimento sustentável

Este livro é dedicado aos discentes, técnicos, docentes e egressos do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Espírito Santo. Seu comprometimento, esforço e excelência acadêmica foram fundamentais para o crescimento do PCTA, impulsionando suas pesquisas, ampliando sua produção científica e contribuindo para a elevação da avaliação do programa. Essa trajetória de dedicação culminou na concretização de um marco histórico: a aprovação do curso de doutorado no final do ano de 2024. Que este livro inspire novas gerações a seguir esse legado de inovação e desenvolvimento sustentável na ciência e tecnologia de alimentos.

Manifestamos nossa gratidão à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PRPPG) da UFES pelo apoio financeiro, viabilizado por meio do PROAP e dos Recursos do Tesouro Nacional, que permitiu a publicação desta obra no âmbito da Coleção Pesquisa UFES. Agradecemos também ao Centro de Ciências Agrárias e Engenharias (CCAEE) da UFES, pelo constante suporte ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PCTA), contribuindo para seu fortalecimento e crescimento.

Nosso reconhecimento se estende à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo fomento à formação de recursos humanos por meio das bolsas de mestrado concedidas ao PCTA, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio à pesquisa por meio das bolsas de produtividade concedidas a docentes do programa.

Por fim, expressamos nossa sincera gratidão a todos os autores dos capítulos, cujo comprometimento, rigor científico e dedicação tornaram possível a concretização desta obra.

Os organizadores

Sumário

Apresentação	11
---------------------------	-----------

O processo de desenvolvimento de novos produtos alimentícios e tendências de aproveitamento de resíduos da indústria de alimentos	13
--	-----------

Suzana Maria Della Lucia • Tarcísio Lima Filho •

Stéfano Cypreste de Almeida • Camila Affonso Louzada

Plantas alimentícias não convencionais como alternativa na indústria de alimentos.....	30
---	-----------

Willian Renan Moraes de Paula • Dara Ramos Carolino •

Jussara Moreira Coelho • Joel Camilo Souza Carneiro •

Antonio Manoel Maradini Filho

Ingredientes naturais – da extração de fontes vegetais à incorporação em matrizes alimentares: saudabilidade, sustentabilidade e inovação.....	57
---	-----------

Ana Clara Nascimento Sobreira • Renato Jorge Cimero Calci •

Consuelo Domenici Roberto

Extratos naturais utilizados como antimicrobianos e antioxidantes em carnes e produtos cárneos	83
---	-----------

Gabriela Permanhane Pereira • Pedro Henrique Alves Martins •

Patrícia Campos Bernardes • Pollyanna Ibrahim Silva

Produção do Kefir de água e do Tepache: preparo, fermentação e seus benefícios	102
<i>Gabriele Estofeles Louzada • Geanderson Leonardo de Lima Pereira • Ingrid Carvalho Moreira • Joel Camilo Souza Carneiro • Luciano José Quintão Teixeira</i>	
Pós-colheita do cacau	132
<i>Maria Emília Rodrigues Valente • Patrícia Campos Bernardes • Raquel Vieira de Carvalho • Bárbara Nicchio Casotti • Sarah Helmer de Souza Ramos</i>	
Potencializando a conservação pós-colheita: o papel da melatonina, óxido nítrico e sulfeto de hidrogênio na extensão da vida útil das frutas.....	157
<i>Laura Rocha Candido • Maria Luiza Montenegro Secco • Moises Zucoloto, Pollyanna Ibrahim Silva • Jussara Moreira Coelho</i>	
Biofortificação: saudabilidade e sustentabilidade	188
<i>Marisa da Silva Corrêa • Ana Paula Ribeiro Gaspar • Cíntia Tomaz Sant'Ana • Mariana Grancieri • Neuza Maria Brunoro Costa</i>	
Aspectos funcionais do café verde e sua utilização pela indústria de alimentos	209
<i>Thalia Gomes da Silva • Maria Luiza Montenegro Secco • André Gustavo Vasconcelos Costa • Pollyanna Ibrahim Silva</i>	
Estratégias sustentáveis para o controle de <i>Listeria monocytogenes</i> em produtos cárneos prontos para consumo	234
<i>Eniale de Melo Oliveira • Patrícia Campos Bernardes</i>	

Economia circular no processo produtivo de cerveja.....	255
--	------------

Leonardo do Vale Borges Poubel • Matheus Stoffel Zacchi •

Suzana Maria Della Lucia • Tarcísio Lima Filho

Sobre os autores	286
-------------------------------	------------

Apresentação

O Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PCTA) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) tem desempenhado um papel fundamental na formação de profissionais e pesquisadores qualificados desde sua criação, em 2010. Inicialmente ele foi estruturado com o curso de mestrado oferecido no Centro de Ciências Agrárias e Engenharias (CCAEE), em Alegre, o programa consolidou sua excelência ao longo dos anos. Em 2024, sua nota foi elevada pela Capes, e, em 2025, foi implementado o curso de doutorado, marcando um avanço significativo na pós-graduação da instituição.

Este livro é fruto do esforço conjunto de professores, alunos e ex-alunos do PCTA, além de colaboradores externos com significativa experiência na área. Trata-se de uma coletânea de capítulos que abordam temas atuais e inovadores relacionados à ciência e tecnologia de alimentos, com foco na inovação e no desenvolvimento sustentável. Embora não esgote a complexidade dos temas tratados, a obra reúne conteúdos relevantes, apresentados de forma clara e acessível, contribuindo para preencher uma lacuna na literatura nacional.

A coletânea destina-se a estudantes de graduação e pós-graduação, pesquisadores e profissionais da indústria de alimentos, oferecendo reflexões sobre desafios e oportunidades do setor. Entre os temas abordados, destacam-se o desenvolvimento de novos produtos

e o aproveitamento de resíduos agroindustriais; o uso de plantas alimentícias não convencionais como alternativa sustentável; ingredientes naturais e extratos vegetais aplicados a matrizes alimentares; o emprego de compostos naturais como antimicrobianos e antioxidantes em carnes e derivados; a produção de bebidas fermentadas como kefir de água e tepache; a conservação pós-colheita do cacau; o papel de compostos bioativos na extensão da vida útil das frutas; a biofortificação como estratégia para melhorar a qualidade nutricional dos alimentos; os aspectos funcionais do café verde; estratégias sustentáveis para o controle de *Listeria monocytogenes* em alimentos prontos para consumo; e a economia circular aplicada à indústria cervejeira.

Ao reunir conhecimentos científicos e aplicados, esta obra visa contribuir para o avanço da ciência e tecnologia de alimentos no Brasil, incentivando a inovação e o desenvolvimento sustentável na cadeia produtiva.

Os organizadores

O processo de desenvolvimento de novos produtos alimentícios e tendências de aproveitamento de resíduos da indústria de alimentos

*Suzana Maria Della Lucia • Tarcísio Lima Filho •
Stéfano Cypreste de Almeida • Camila Affonso Louzada*

A sustentabilidade é, atualmente, uma realidade cada vez mais presente em todos os setores da economia e da sociedade como um todo. De acordo com a Organização das Nações Unidas (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1988), a sustentabilidade tem como enfoque “suprir as necessidades da geração presente, sem afetar a habilidade das gerações futuras de suprirem as suas”. De fato, praticar o desenvolvimento sustentável implica satisfazer as necessidades atuais da sociedade, porém, permitindo que se garanta à sociedade do futuro a satisfação das suas próprias

necessidades. A premissa do desenvolvimento sustentável baseia-se em práticas sociais, econômicas e ambientais. As sociais referem-se a investimentos em segurança e educação, igualdade de gênero, investimento na comunidade, entre outros. As econômicas são práticas gerenciais que têm por objetivo alcançar desempenho econômico, seja em relação ao lucro da empresa, acesso a subsídios e crédito, custos com mão de obra etc. Já as práticas ambientais são referentes à preservação do meio ambiente e prevenção de impactos ambientais (VENADES, 2020).

Assim sendo, alternativas promissoras de aproveitamento de resíduos da indústria de alimentos para o desenvolvimento de novos produtos alimentícios vêm sendo estudadas, com o intuito de promover maior sustentabilidade, tanto em termos econômicos, quanto em termos ambientais e sociais. Isto porque, entre outros fatores, este aproveitamento de resíduos permite aumento de rentabilidade para a indústria (impacto econômico), redução de descarte e consequente poluição do meio ambiente (impacto ambiental), e oferecimento de alternativas alimentares de valor agregado, como o aumento do valor nutricional de alimentos para o mercado, por exemplo (impacto social).

O processo de desenvolvimento de novos produtos alimentícios, assim como o processo de desenvolvimento de qualquer tipo de produto é complexo, e envolve muito mais do que o estudo e otimização de formulações e análises laboratoriais. Portanto, a utilização de resíduos da indústria de alimentos para o desenvolvimento de novos alimentos deve ser feita baseando-se em uma série de fatores, obedecendo ao processo de desenvolvimento como um todo, a fim de que se alcance, de fato, um desenvolvimento sustentável.

Neste capítulo, são abordados conceitos relativos a produtos, ao processo de desenvolvimento de novos produtos e à utilização de resíduos da indústria de alimentos para o desenvolvimento de novos produtos alimentícios, além de considerações sobre este processo.

Produto e novo produto

Por definição, produto é um conjunto de bens tangíveis ou intangíveis que traz benefícios reais ou percebidos ao mercado, a fim de satisfazer necessidades e desejos do consumidor (SEMENICK; BAMOSSY, 1995). Ainda, produto pode ser definido como qualquer coisa que possa ser oferecida a um mercado para atenção, aquisição, uso ou consumo, e que possa satisfazer a um desejo ou necessidade (KOTLER; ARMSTRONG, 2009). Já o conceito de novo produto revela que este seria algo que nunca havia sido manufaturado pela empresa e introduzido por essa empresa em seu mercado (IRIGARAY *et al.*, 2009). Assim, novos produtos englobam os produtos originais, aprimoramentos, as modificações nos produtos e as novas marcas que a empresa desenvolve por meio de pesquisa e desenvolvimento. Ainda, um novo produto é um produto que já existe e já está estabelecido, porém, apresentado pela empresa de uma nova maneira ou em um novo mercado, com a finalidade de satisfazer os anseios do mercado.

Assim, as definições de produto e novo produto deixam claro que estes existem com um propósito muito bem estabelecido: satisfazer desejos, necessidades e anseios do mercado consumidor.

Processo de desenvolvimento de novos produtos

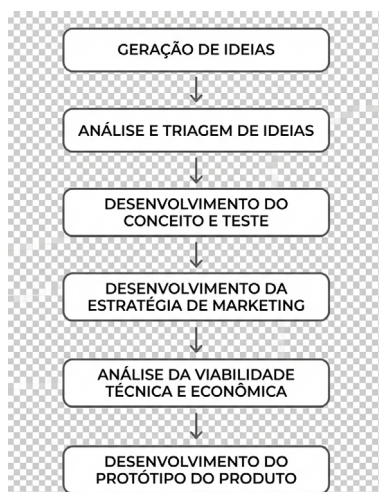
O processo de desenvolvimento de novos produtos é um processo pelo qual uma organização transforma as informações de oportunidade de mercado em informações para a fabricação de um produto, passando por diferentes etapas para atingir esta finalidade. Este processo vai além do projeto do produto e do processo, englobando relações com outros setores como a produção, o marketing e a logística, e com o ambiente externo à empresa, como o mercado (COSTA, 2003).

Assim, este processo é uma ferramenta de crescimento muito utilizada pelas empresas, cujo sucesso baseia-se em reconhecer e atender às necessidades e aos desejos do consumidor.

Portanto, quando se diz que um novo produto está sendo desenvolvido, há que se ter em mente que este desenvolvimento envolve não somente o desenvolvimento do protótipo do produto em si, mas também várias outras etapas que permitam à empresa oferecer ao mercado algo que satisfaça seus desejos, necessidades e anseios.

Vários autores da área esquematizam o processo de desenvolvimento de um novo produto em diferentes etapas, de maneira separada, ainda que, na prática, muitas destas etapas ocorram de maneira simultânea para atingir o objetivo final da empresa. Na Figura 1 estão demonstradas as etapas do processo de desenvolvimento de um novo produto.

Figura 1 – Etapas do processo de desenvolvimento de novos produtos. Baseado em Kotler (2000) e Irigaray *et al.* (2009)



Fonte: Os autores.

O processo de desenvolvimento de novos produtos começa com a geração ou busca de ideias de um novo produto. Essa busca não é aleatória, uma vez que o novo produto deve atender às necessidades e desejos do mercado consumidor, aliadas às necessidades, em relação a lucro e viabilidade de produção, por exemplo, da empresa que o comercializará. Após a geração de ideias para um possível novo produto, estas devem passar por um processo de triagem, em que inúmeras considerações são feitas para a seleção final da ideia do novo produto a ser desenvolvido. Estas considerações envolvem o estudo preliminar do mercado para o produto e o alvo estimado em volumes e valores; os custos de desenvolvimento e produção estimados; a avaliação do retorno do projeto; a presença de possíveis concorrentes. Além disso, envolvem critérios relacionados à ideia de produto em si, como atendimento a uma necessidade do mercado, benefícios percebidos pelo mercado em relação ao produto, entre outros.

Após a seleção da ideia do produto a ser desenvolvido, deve-se criar o conceito do produto. O conceito é, na verdade, uma versão mais elaborada da ideia, explicada em termos que façam sentido para o mercado consumidor. O conceito inclui a definição do produto, a apresentação de suas características, de seus benefícios, para quem ele é feito, qual o momento mais apropriado de uso ou consumo, entre outros. Esse conceito pode ser demonstrado em forma de uma frase escrita, de um protótipo ou de um vídeo, por exemplo. A partir de sua criação, o conceito é testado perante o possível mercado consumidor, por meio de testes que envolvem pesquisa de mercado. Nesta pesquisa, o consumidor é convidado a ver/ouvir o conceito do produto e deve avaliar se consegue entender seus benefícios, se este satisfaz a uma necessidade, se há produtos semelhantes no mercado e sua intenção de compra para esse produto. Dessa forma, o teste de conceito permite avaliar o potencial de mercado do produto e obter informações úteis para desenvolver estratégias para ele.

A próxima etapa é o desenvolvimento da estratégia de marketing para o novo produto. Ela diz respeito à definição da dimensão,

forma e comportamento do mercado potencial, o posicionamento delineado do produto e as metas de vendas e lucros e participação de mercado esperadas em curto, médio e longo prazos. Além disso, envolve a definição do preço para o produto, a logística de distribuição e o estudo do composto de marketing ao longo do tempo (4 P's de marketing: produto, preço, ponto de distribuição e promoção), incluindo o planejamento de mídia, de promoção junto ao consumidor, de promoção comercial e de *merchandising*.

A análise da viabilidade técnica e econômica do novo produto avalia o nível de risco que a empresa poderá ter, se o produto for lançado, considerando o grau de novidade desse produto para o mercado. Além disso, a análise de viabilidade prevê o estudo do retorno a ser obtido sobre o investimento; o fluxo de caixa esperado; a análise do ponto de equilíbrio; as estimativas sobre preços e vendas; e as estimativas sobre custos e lucros.

Já a fase de desenvolvimento do protótipo do produto, de modo geral, para todos os tipos de produto, consiste na construção de modelos ou protótipos com todas as características que o produto final teria, de forma que possa ser testado para compra e, ou consumo. Na elaboração do protótipo, o que se faz, na verdade, é desenvolver versões físicas do conceito do produto. Isto demonstrará se a ideia de produto pode ser traduzida em um produto viável. Nesta etapa, além do desenvolvimento do protótipo, são feitos inúmeros testes com este produto para adequação e melhorias necessárias, para que possa ser apresentado ao mercado.

O teste de mercado prevê como os consumidores e revendedores reagem ao manejo, uso e possível repetição de compra do produto e qual o tamanho real do mercado. Dessa forma, esta etapa permite à empresa/indústria ter uma ideia mais fiel de como será o desempenho do produto quando inserido, de fato, no mercado. Existem vários tipos de teste de mercado, e a escolha por determinado tipo recairá sobre aquele que se encaixar melhor nas necessidades e no orçamento da empresa.

Por fim, a comercialização do produto consiste no lançamento do novo produto no mercado. A estratégia de lançamento do produto prevê quando ele será lançado (a data ou época do lançamento), onde (em mercados pulverizados, no mercado nacional ou internacional), para quem (mercado e seus segmentos e nichos) e como (estratégia em termos de planejamento de campanhas na mídia e atividades correlatas).

Após passar por todas as etapas do processo de desenvolvimento e, tendo o produto sido lançado, é importante que a empresa avalie o desempenho dele no mercado, baseando-se principalmente nos seguintes critérios: vendas/faturamento; qualidade do produto; lucratividade; parcela do mercado alcançada; crescimento das vendas; e custos de produção/distribuição.

Vale enfatizar que as etapas descritas anteriormente podem, como se percebe, sobrepor umas às outras, sendo desenvolvidas simultaneamente, além de poder haver retorno a etapas anteriores caso haja necessidade de se corrigir ou aprimorar algum ponto do processo.

Desenvolvimento de novos produtos alimentícios

O desenvolvimento de novos produtos alimentícios segue processo semelhante ao descrito anteriormente (Figura 1), porém com as particularidades relacionadas aos produtos voltados para a alimentação e as nuances relativas à indústria de alimentos. Assim, esse processo leva em consideração especificidades relativas ao mercado consumidor de alimentos e ao seu comportamento de compra e consumo, às características das matérias-primas e processos de fabricação utilizados, ao desenvolvimento de formulações de alimentos (e suas análises físicas, químicas, microbiológicas, sensoriais e de vida útil) e à legislação de alimentos em vigor. Além disso, engloba toda a estratégia de marketing relativa ao novo alimento a ser inserido no mercado, levando em consideração, também, sua análise de viabilidade técnica e econômica.

De qualquer forma, assim como os diferentes tipos de produtos existentes em diversos mercados, o desenvolvimento de novos produtos alimentícios deve atender às demandas de um mercado consumidor cada vez mais exigente em relação às suas necessidades, desejos e anseios.

Tendências no desenvolvimento de novos produtos alimentícios

O mercado consumidor de alimentos é caracterizado pelo seu dinamismo, apresentando alterações em suas preferências, procuras, necessidades e desejos. Isto se deve às várias mudanças que ocorrem ao longo da vida das pessoas, como alterações no estilo de vida, estágio do ciclo de vida em que se encontram, tipo de ocupação, entre outros. Além disso, mudanças em nível de macroambiente, como aquelas relacionadas à economia, legislação, política etc., refletem em mudanças no comportamento de consumo. Assim, a necessidade de consumo de refeições fora do ambiente domiciliar, por exemplo, leva a uma maior procura por produtos considerados de consumo rápido (produtos práticos ou convenientes). Ainda, com um estilo de vida e trabalhos que demandam cada vez mais esforço físico e, ou mental, os consumidores optam por procurar, também, por alimentos considerados mais indulgentes, ou seja, aqueles que trazem prazer ao serem consumidos, como uma forma de merecimento por todo o esforço realizado, no intuito de relaxar. Já a maior preocupação com a saúde, atualmente, leva ao aumento do consumo de produtos mais saudáveis, com menores teores de gordura, sódio e açúcares adicionados; ainda, revela maior preocupação do consumidor em relação à origem dos alimentos que consomem, aos ingredientes utilizados na sua fabricação, à presença de aditivos, como conservantes, estabilizantes etc.

Como reflexo das demandas do mercado, as indústrias de alimentos têm procurado trabalhar, no processo de desenvolvimento de novos produtos, com a melhoria de produtos já existentes, sejam eles de caráter indulgente, prático ou saudável. Essa melhoria consiste na remoção de açúcares, de sódio, de gorduras saturadas, de possíveis alergênicos e de ingredientes geneticamente modificados; na adição de fibras, frutas e vegetais e vitaminas nos produtos desenvolvidos; e na substituição de corantes sintéticos e outros aditivos sintéticos e substituição de grãos refinados por grãos integrais, por exemplo. Isso implica na produção de alimentos considerados *clean label*, isto é, aqueles alimentos fabricados com poucos ingredientes, menor número de aditivos sintéticos (entre corantes, aromatizantes e conservantes, por exemplo) e com rótulos de ingredientes mais “limpos” e fáceis de entender.

Uma outra grande tendência na indústria de alimentos tem um enfoque no conceito de sustentabilidade. A sustentabilidade baseia-se no atendimento às necessidades de gerações atuais, como o atual mercado consumidor, sem comprometimento das gerações futuras, tendo como pilares o crescimento econômico, o respeito ao meio ambiente e o bem-estar social. Nesse sentido, a utilização de resíduos gerados na indústria de alimentos a partir da fabricação dos seus produtos principais, para a fabricação de novos produtos alimentícios, é uma realidade cada vez mais necessária, e cada vez mais aceita pelo mercado consumidor.

A seguir, são apresentados os principais resíduos da indústria alimentícia utilizados para a fabricação de novos alimentos.

Utilização de resíduos da indústria de alimentos no desenvolvimento de novos produtos alimentícios

A produção mundial de frutas e vegetais (incluindo hortaliças) é cerca de 1957 milhões de toneladas (FAO, 2020), os quais são destinados

principalmente para consumo direto e produção industrial de alimentos e bebidas. Sendo assim, há uma grande geração de resíduos provenientes do uso industrial desses alimentos. Os resíduos de frutas, por exemplo, derivam basicamente da indústria de polpas e sucos, sendo em torno de 30 a 40% em relação à fruta. Tais resíduos podem ser partes de cascas, sementes, bagaços e caroços (RANDOLPHO *et al.*, 2020). Já os resíduos de vegetais e hortaliças são constituídos de talos, folhas e raízes, por exemplo, além daqueles já citados para as frutas.

Assim, uma alternativa ao descarte desse material (e consequente problema ambiental) é o desenvolvimento de novos produtos a partir desses resíduos. A literatura cita o desenvolvimento de produtos em diversos setores da indústria de alimentos:

a) Panificação: bolos (a partir da casca, brotos e bagaço de frutas; com farinhas preparadas a partir de sementes e cascas); pães (com cascas e sementes de frutas; farinha de cascas de frutas); *cookies* e biscoitos doces e salgados (com farinhas provenientes de caroços, bagaço e cascas de frutas e talos de vegetais; com farelos de vegetais); massas (brotos de vegetais); barras de cereais (com cascas de frutas e farinhas provenientes de cascas de frutas e vegetais).

b) Laticínios: queijos (com utilização de sementes, bagaços e cascas); iogurtes (com farinha da casca de frutas e vegetais); leites fermentados (com bagaço de frutas).

c) Doces, geleias e compotas: doces em geral e doces cristalizados (com casca e sementes de frutas e vegetais); geleias e compotas (com casca de frutas).

d) Farináceos: farinhas (a partir de sementes, cascas, bagaço, raízes, talos, albedo de frutas e vegetais) para uso como ingrediente na indústria de alimentos.

Entre os resíduos provenientes de frutas mais utilizados como matéria-prima na indústria de alimentos, destacam-se os de uva, acerola, laranja, abacate, maracujá, manga, banana, abacaxi, melancia e jabuticaba. Já para os vegetais e hortaliças, destacam-se os resíduos de cenoura, beterraba, mandioca, milho, batata e tomate.

Além do uso de resíduos de frutas, vegetais e hortaliças, outros materiais normalmente descartados na indústria de alimentos têm sido empregados para a fabricação de diferentes produtos. O bagaço do malte de cevada, resíduo obtido a partir da fabricação da cerveja, vem sendo amplamente utilizado como ingrediente para fabricação de produtos. A cada 100 L de cerveja produzida, são gerados, aproximadamente, 20 kg do resíduo seco (bagaço), representando 85% do total de resíduos sólidos do processo de produção (ESCOLA SUPERIOR DE CERVEJA E MALTE, 2025). O bagaço de malte possui boas características nutricionais, uma vez que possui alto teor de fibras e proteínas (FERREIRA, 2017). Assim, ele tem sido utilizado na fabricação de bolos, biscoitos, pães e hambúrgueres, agregando valor nutricional aos produtos.

Além da utilização direta dos resíduos citados no desenvolvimento de novos alimentos, estes resíduos podem ser usados para a extração e produção de determinados compostos que serão utilizados em formulações de alimentos.

Além do aproveitamento desses resíduos na indústria, a grande vantagem desse material é que sua utilização na fabricação de novos alimentos agrega valor aos mesmos, uma vez que grande parte dos resíduos possui algum componente com propriedades bioativas (para o organismo humano) e, ou tecnológicas (no processamento do alimento), além de valor nutricional. Estes podem fornecer aos alimentos características antioxidantes, aromatizantes, espessantes, corantes e de agentes antimicrobianos; podem conferir vitaminas, minerais, lipídeos e fibras ao alimento, fortificando-o ou o enriquecendo; e podem ser agentes antioxidantes para o organismo, retardando o envelhecimento das células.

Assim, o desenvolvimento desses novos produtos atende a uma demanda cada vez maior de sustentabilidade e preocupação com a saúde, além de agregar valor à produtos indulgentes e aos de rápido consumo, ou seja, de maior praticidade. Ainda, possibilitam

o aumento da rentabilidade da indústria de alimentos que aproveita tais resíduos na fabricação de novos produtos.

Ressalta-se que vários outros resíduos da indústria de alimentos têm potencial para uso no desenvolvimento de novos produtos alimentícios, e que muito tem sido feito para aumentar seu aproveitamento e diminuir o volume de descarte para o meio ambiente.

Considerações sobre o processo de desenvolvimento de novos produtos alimentícios a partir de resíduos da indústria de alimentos

Assim como todo processo de desenvolvimento de um produto alimentício, o desenvolvimento de alimentos a partir de resíduos da indústria de alimentos deve seguir todas as etapas citadas anteriormente (item 3). De nada vale pensar o desenvolvimento somente como a elaboração de formulações e testes laboratoriais do produto. Pelo contrário, tal elaboração consiste apenas de uma das etapas do processo, em que se procura viabilizar a fabricação do alimento, de forma que possa ser oferecido ao mercado dentro de padrões preconizados de qualidade nutricional, microbiológica, físico-química e sensorial, por exemplo. O desenvolvimento do novo produto deve ser estudado desde a etapa inicial de geração de possíveis ideias de produto empregando a utilização dos resíduos agroindustriais, como também o desenvolvimento do conceito de produto a ser oferecido ao mercado e o estudo de toda a estratégia de marketing relacionada a ele, além de demais etapas necessárias. Não se pode planejar o lançamento de um produto sem antes conhecer e entender os anseios, necessidades e desejos do mercado consumidor. Não se pode apenas imaginar oferecer o produto ao mercado, somente como forma de redução de descarte na indústria ou tentativa de promover sustentabilidade e rentabilidade, sem antes descobrir se o mercado entende os benefícios reais e percebidos do produto. Assim, ressalta-se a

necessidade de atenção ao processo, como um todo, de desenvolvimento do novo produto, para que este venha a ser, efetivamente, algo que atenda ao mercado.

Enfatiza-se aqui a importância das pesquisas de mercado e dos testes feitos com os possíveis consumidores do produto, como os testes de análise sensorial e de estudo do seu comportamento.

Considerações finais

Neste capítulo, procurou-se proporcionar uma visão geral sobre o processo de desenvolvimento de novos produtos, dando ênfase ao desenvolvimento de produtos alimentícios e à utilização de resíduos da indústria de alimentos na produção de novos alimentos. O aumento da demanda, por parte da indústria e do mercado consumidor, por práticas baseadas cada vez mais no conceito de sustentabilidade, leva a inúmeras possibilidades de aproveitamento de resíduos de alimentos na fabricação de novos produtos alimentícios. Além da possibilidade de redução do volume de descarte desses resíduos e de aumento da rentabilidade para a indústria em decorrência da comercialização desses novos produtos, o mercado é beneficiado por ter em mãos produtos de maior valor agregado, incluindo benefícios como aumento do valor nutricional de alimentos e ingestão de compostos bioativos presentes nesses novos produtos. Entretanto, há que se ter em mente que o processo de desenvolvimento de novos produtos engloba várias etapas, e não somente o desenvolvimento da formulação em si e os testes no protótipo do produto. De fato, para que esses alimentos fabricados a partir dos resíduos industriais tenham aceitação pelo mercado, várias considerações devem ser feitas em relação à viabilidade técnica e financeira do desenvolvimento desses alimentos, o conceito e posicionamento desses novos produtos em relação ao mercado consumidor, as constantes pesquisas mercadológicas sobre o produto, além de toda a estratégia de marketing

(passando pelos quatro P's de marketing: produto, preço, ponto de distribuição e promoção) envolvendo seu desenvolvimento.

Referências

- AFFONSO NETO, A. **Gestão de marketing**. Brasília: Universidade Corporativa do Brasil, 2007. 177 p.
- ARAÚJO, I. C. da S.; SANTOS, E. R. de M. Aproveitamento de subprodutos do processamento de frutas e hortaliças. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v. 12, n. 1, p. 09–16, 2022. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/REBAGRO/article/view/9373>. Acesso em: 28 jan. 2025.
- BOSI, M. G. **Caracterização da gestão e de atividades de capacitação para o processo de desenvolvimento de produto alimentício: estudos de caso**. 2004. 116 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), São Carlos: UFSCar, 2004.
- COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1988.
- COSTA, E. G. F. **Desenvolvimento de uma bebida à base de proteína de soja, enriquecida com vitaminas A e D**. 2003. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.
- ESCOLA SUPERIOR DE CERVEJA E MALTE. Resíduos das cervejarias: o que fazer com o bagaço do malte? **Resíduos das cervejarias: o que fazer com o bagaço do malte?**. [S. l.: s. n.], 2025. Disponível em: <https://cervejaemalte.com.br/>. Acesso em: 28 jan. 2025.
- FERREIRA, M. S. B. **Elaboração de biscoito integral empregando resíduo da indústria cervejeira na formulação**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de

- Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.
- FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Fruit and vegetables – your dietary essentials**. The International Year of Fruits and Vegetables, 2020, background paper. Rome, 2020. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/items/c2858d1e-005d-4d3e-9784-f3fc252d1c24>. Acesso em: 29 jan. 2025.
- FOOD PROCESSING. **Food Processing**. [S. l.: s. n.], 2024. Disponível em: <http://www.foodprocessing.com>. Acesso em: nov. 2024.
- FULLER, G. W. **New Food Product Development: from concept to marketplace**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2011. 388 p.
- GADE, C. **Psicologia do consumidor e da propaganda**. 2. ed. São Paulo: EPU, 1998. 269 p.
- GIANNONI, J. A.; IMAMURA, K. B.; VENÂNCIO, A. C.; NASCIMENTO, R. R.; FREITAS, V. J.; MARINELLI, P. S. Aproveitamento de resíduos orgânicos para o desenvolvimento de “beijinho” a base de mandioca amarela e rosada. **Revista da Associação Brasileira de Nutrição – RASBRAN**, v. 8, n. 2, p. 50–57, 2018. Disponível em: <https://www.rasbran.com.br/rasbran/article/view/631>. Acesso em: 28 jan. 2025.
- IRIGARAY, H. A.; VIANNA, A.; NASSER, J. E.; LIMA, L. P. M. **Gestão e desenvolvimento de produtos e marcas**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2009. 152 p.
- KOTLER, P. **Administração de marketing**. 10. ed. São Paulo: Prentice-Hall, 2000. 764 p.
- KOTLER, P.; ARMSTRONG, G. **Princípios de marketing**. 12. ed. Rio de Janeiro: Prentice-Hall, 2009. 600 p.
- LEDUC, R. **Como lançar um produto novo**. 3. ed. São Paulo: Vértice, 1986. 225 p.
- MAIA, M. N. dos S.; RAMOS, G. D. M.; ANTUNES, V. de C. Uso de coprodutos agroindustriais na fabricação de biscoitos. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 1, p. 1738–1747, 2022.

- Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv8n1-109>. Acesso em: 28 jan. 2025.
- MALHOTRA, N. K. **Pesquisa de marketing**: uma orientação aplicada. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 720 p.
- MINIM, V. P. R. (Ed.). **Análise sensorial**: estudos com consumidores. 3. ed. Viçosa: UFV, 2018. 362 p.
- PEREIRA, L. F. A.; FIRMO, W. da C. A.; COUTINHO, D. F. The importance of reusing waste from the food industry: the case of fruit processing. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 12, p. e38111234089, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i12.34089. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/34089>. Acesso em: 28 jan. 2025.
- PINHEIRO, R. M.; CASTRO, G. C.; SILVA, H. H.; NUNES, J. M. G. **Comportamento do consumidor e pesquisa de mercado**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006. 164 p.
- RANDOLPHO, G. A.; AMARAL, L. A.; ARELHANO, L. E.; SANTOS, E. F. Resíduos de frutas transformados em novos produtos alimentícios: uma revisão sistemática. **Multitemas**, v. 25, n. 61, p. 297–311, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.20435/multi.v25i61.2363>.
- SANTANDER OPEN ACADEMY. O que é a sustentabilidade: definição, tipos e exemplos. **O que é a sustentabilidade**: definição, tipos e exemplos. [S. l.: s. n.], 2025. Disponível em: https://www.santanderopenacademy.com/pt_br/blog/o-que-e-a-sustentabilidade.html. Acesso em: 27 jan. 2025.
- SEMENICK, R. J.; BAMOSSY, G. **Princípios de marketing**: uma perspectiva global. São Paulo: Makron Books, 1995. 867 p.
- VENADES, G. F. **Sustentabilidade**. E-book, 2020. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/598004/2/E%20BOOK%20SUSTENTABILIDADE%20finalizado.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2025.
- VIEIRA FILHO, J. R.; QUEIROZ, S. A. B.; LIMA, L. M. A utilização de resíduos da uva no desenvolvimento de novos produtos, no

contexto da economia circular. **Libertas – Faculdades Integradas**, 2023. Disponível em: <https://revistaic.pesquisaextensaolibertas.com.br>. Acesso em: 27 jan. 2025.

Plantas alimentícias não convencionais como alternativa na indústria de alimentos

*Willian Renan Moraes de Paula • Dara Ramos Carolino •
Jussara Moreira Coelho • Joel Camilo Souza Carneiro •
Antonio Manoel Maradini Filho*

A indústria de alimentos possui uma grande diversidade de produtos alimentícios, os quais são produzidos principalmente com insumos oriundos da agricultura e da pecuária, contudo em muitos casos os atuais sistemas de manejo causam degradação da natureza (VIANA, 2019).

Cerca de 90% do alimento mundial vem de apenas algumas poucas espécies contendo poucas variedades entre elas (KINUPP; LORENZI, 2014). Segundo Pollan (2008) dois terços das calorias que consumimos, são obtidos através de apenas quatro fontes vegetais processados (milho, soja, trigo e arroz).

De acordo com Paterniani (2001), de toda diversidade vegetal existente no mundo, uma pequena parte tem sido utilizada para

a produção de alimentos. De aproximadamente 350 mil espécies de plantas conhecidas, apenas cerca de 3 mil são usadas para a alimentação, das quais 300 espécies são cultivadas pelo homem e 15 dessas plantas (arroz, trigo, milho, soja, sorgo, cevada, cana-de-açúcar, beterraba, feijão, amendoim, batata, batata-doce, mandioca, coco e banana) representam cerca de 90% das utilizadas para alimentação no mundo. Isso mostra uma grande redução da biodiversidade comercializada e uma escolha por espécies que representam um maior potencial de produção.

O grande desafio industrial está não só no aumento da demanda por alimentos, mas também nas novas tendências alimentares, orientadas pelo novo perfil do consumidor em optar por alimentos mais saudáveis, de maior valor nutritivo, praticidade no preparo/consumo e sustentabilidade na produção (VIANA, 2019).

A população mundial atualmente conta com aproximadamente 7,8 bilhões de habitantes. De acordo com Fasolin *et al.* (2019) as projeções indicam que no ano de 2050 haverá cerca de 10 bilhões de pessoas no mundo. Com isso, a grande dificuldade está em conseguir atender às necessidades globais de segurança alimentar, que é o acesso a alimentos seguros para ingestão que sejam nutritivos e em quantidade suficiente, pois a demanda por alimentos e proteínas aumenta a uma taxa ainda mais acelerada do que o crescimento populacional (CALICIOGLU *et al.*, 2019).

Logicamente isso causará uma expansão agrícola e de crescimento da produtividade, sobrecarregando ainda mais os recursos naturais do planeta, ampliando as taxas de desmatamento, das emissões de gases de efeito estufa e do consumo de água, assim caminhando a passos largos para a insuficiência ecológica mundial e as mudanças climáticas severas (FAO; OPAS, 2017; FASOLIN *et al.*, 2019).

Alinhado ao crescimento populacional e novo perfil do consumidor que busca alimentos mais saudáveis, surge a necessidade de suprir a demanda por proteínas e nutrientes, buscando novas fontes além das já tradicionais. Neste cenário surgem potencialmente as

plantas alimentícias não convencionais (PANCs), que devido às suas características nutricionais são vistas como uma alternativa com capacidade suficiente para atender às novas exigências (LEAL; ALVES; HANAZAKI, 2018).

A criação do termo PANC foi necessária para definir e intitular diferentes espécies vegetais, que não são exploradas no contexto nacional. Isso não quer dizer que as PANCs foram geradas a partir da criação deste termo, pois elas sempre estiveram presentes na natureza, porém não eram intituladas desta maneira. No contexto mundial, existem outras denominações que são dadas a essas espécies vegetais, que são consideradas negligenciadas ou subutilizadas (NUS – *Neglect and Underutilized Species*), englobando não só espécies vegetais, mas também espécies animais e insetos que sejam comestíveis (CASEMIRO; VENDRAMI, 2021).

Atualmente são utilizadas poucas variedades de plantas na nossa alimentação, em vista do que se tem disponível no planeta. Muito disso se deve aos nossos sistemas atuais de agricultura, que priorizam as monoculturas cultivadas em grandes plantações, necessitando cuidados no controle do solo e das pragas, causando degradação ao meio ambiente e exaurindo os recursos naturais existentes.

As PANCs, além de todas as suas propriedades benéficas, seu plantio e crescimento na maioria das vezes não necessitam de maiores cuidados, pois são plantas que geralmente já estão adaptadas às condições da região e na maioria dos casos o seu crescimento acontece de forma espontânea. Dessa forma, o seu cultivo não necessita de interferir no controle de pragas, como as outras plantas geralmente necessitam.

Plantas alimentícias não convencionais

Definição e breve histórico das PANCs

As PANCs podem ser definidas como plantas comestíveis em que uma ou mais partes são aproveitadas para alimentação humana, podendo ser cultivadas ou espontâneas, e geralmente não são consumidas de forma usual no nosso cardápio. Essas plantas podem ser consumidas na forma de frutos, sementes, raízes, óleos, temperos, condimentos e até insumos para produção de novos produtos (KINUPP; LORENZI, 2014). Segundo Narcisa-Oliveira e colaboradores (2018) as PANCs, de modo geral, são fontes alimentares que não necessitam da aplicação de insumos ou abertura de novas áreas para plantio, se desenvolvendo de forma espontânea na natureza.

De acordo com Pedrosa *et al.* (2012), as PANCs são típicas em determinadas regiões, e seu cultivo geralmente acontece na agricultura familiar com técnicas passadas entre gerações, muitas vezes sem a intenção de comercializar, apenas para consumo da própria família, ou vendas em pequenas feiras. Esses recursos alimentares ainda são desconhecidos por uma considerável parcela da população por causa da falta de informações relacionadas à sua disponibilidade, formas de uso, identificação e de quais partes podem ser utilizadas.

Já na definição da Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo – MAPA/ACS (Brasil, 2010), são caracterizadas como PANCs as plantas que não foram completamente estudadas por parte da comunidade técnico-científica e/ou ainda falta exploração pela maior parte da sociedade, sendo mais conhecidas regionalmente, com menor aceitação e menor consumo fora da sua região de origem.

O uso do termo “não convencional”, não necessariamente é a classificação da planta ou espécie em si, mas faz referência a sua usabilidade regional ou na cultura local. Uma planta pode ser classificada como PANC em uma determinada região do país e em outra região

não ser considerada assim. Há críticas quanto ao uso deste termo, pois muitas dessas plantas são populares fora das zonas urbanas.

Embora seja criticado por alguns, o uso do termo PANC gerou um aumento de popularidade em relação a essas plantas nos últimos anos no Brasil. Criada em 2008, a sigla unificou os diversos termos utilizados para denominar estes vegetais. Além do termo “não convencional”, é comum encontrar outras nomenclaturas como “negligenciadas” ou “subutilizadas”, em que temos até animais e insetos com essas classificações, principalmente fora do território nacional (ERICE, 2011).

Um dos primeiros e mais completos estudos realizados sobre as PANCs em todo o mundo foi feito por Kunkel (1984), e neste levantamento foram listadas cerca de 12,5 mil espécies com potencial comestível em todo o mundo como, por exemplo, caruru, juçara, buriti, carqueja, chicória, beralha, azedinha, ora-pro-nóbis, e muitas outras.

Ainda não há nenhuma legislação em órgãos de controle a respeito do cultivo de PANCs ou relacionado ao seu comércio no Brasil, mas suas características já são vistas com bons olhos por governos estaduais/municipais de alguns estados. Existem municípios que já estabeleceram a implantação de hortas com essas plantas nas escolas, como forma de enriquecimento do cardápio dos estudantes. Um exemplo acontece na cidade de Jundiaí-SP, onde a horta municipal e as hortas instaladas nas escolas municipais da cidade produzem PANCs (vinagreira, ora-pro-nóbis, nirá, chaya, entre outras) que são inseridas na alimentação de estudantes de 60 escolas da educação infantil da cidade (Tribuna de Jundiaí, 2022).

Tipos de PANCs mais comuns no Brasil e sua caracterização físico-química

Entre as PANCs já utilizadas no Brasil, destacam-se o jambu, serralha, beldroega, ora-pro-nóbis, peixinho, beralha, azedinha, caruru, capuchinha e taioba. Para efeito de comparação, os valores da composição

química da alface, uma hortaliça convencional amplamente consumida no país, também foram incluídos na Tabela 1. Tanto as PANCs quanto a alface foram escolhidos por conveniência.

Jambu (*Acmella oleracea*)

O jambu (Figura 1) é um alimento rico principalmente em ferro e vitamina C, além de conter vitaminas B1, B2 e niacina. Suas folhas, caules e inflorescências possuem carboidratos, lipídios, proteínas, sais minerais e fibras (BORGES, 2009). Seu componente majoritário é a água (82,09%), seguido de fibras (6,53%), carboidratos (4,37%), proteínas (3,85%), minerais (2,90%) e lipídios (0,26%). Em comparação com a alface (Tabela 1), o jambu apresenta até três vezes mais fibras, cinco vezes mais proteínas, e duas vezes mais carboidratos. Faz parte de pratos típicos do Pará e Amazonas, como tacacá e tucupi, e causa uma sensação peculiar de dormência nas mucosas ao ser consumido (EMBRAPA, 2017a).

Tabela 1 – Composição centesimal, em base úmida, da alface e das PANCs

Parâmetro Avaliado	Alface	Jambu	Serralha	Beldroega	Ora-pro-nóbis	Peixinho	Bertalha	Azedinha	Caruru	Capuchinha	Taioba
Umidade (g/100 g)	96,1	82,09	87,32	91,92	88,65	75,33	93,25	92,13	76,17	82,2	86,58
Proteínas (g/100 g)	1,3	3,85	3,57	1,27	2,1	4,14	2,01	2,07	5,58	5,0	3,05
Lipídios (g/100 g)	0,2	0,26	0,52	0,44	0,51	0,93	0,21	0,27	0,35	1,13	0,62
Carboidratos (g/100 g)	1,7	4,37	2,42	1,83	2,65	4,23	1,31	1,95	6,31	5,17	4,12
Fibra Alimentar (g/100 g)	1,8	6,53	4,34	2,76	3,88	13,21	2,02	2,53	7,38	4,46	3,89
Cinzas (g/100 g)	0,7	2,90	1,84	1,43	2,33	2,16	1,2	1,05	4,21	1,53	1,74
Valor Calórico (Kcal)	11	35,22	28,6	16,43	22,62	41,85	15,17	18,51	50,71	50,85	34,26

Fonte: Botrel *et al.* (2020); Taco (2011).

Serralha (*Sonchus oleraceus*)

A serralha (Figura 2) é rica em vitaminas A, B e C, cálcio e ferro, sendo conhecida por suas propriedades anti-inflamatórias e diuréticas (KELEN *et al.*, 2015). Seu componente majoritário é a água (87,32%), seguida de fibras (4,34%), proteínas (3,57%), carboidratos (2,42%), minerais (1,84%) e lipídios (0,52%). Em relação à alface, a serralha apresenta até três vezes mais proteínas e duas vezes mais fibras. Suas folhas podem ser consumidas cruas ou cozidas, apresentando um sabor levemente amargo semelhante ao espinafre.

Beldroega (*Portulaca oleracea*)

A beldroega (Figura 3) é rica em ômega-3, betacaroteno e vitamina C, com propriedades antioxidantes e diuréticas (KELEN *et al.*, 2015). Sua composição química apresenta água (91,92%), fibras (2,76%), carboidratos (1,83%), minerais (1,43%), proteínas (1,27%) e lipídios (0,44%). Em comparação à alface, a beldroega possui percentuais similares na maioria dos parâmetros, mas destaca-se pelo maior teor de minerais.

Ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata*)

A ora-pro-nóbis (Figura 4) contém vitaminas A, B e C, além de ferro, cálcio e fósforo, sendo útil no combate à anemia (KELEN *et al.*, 2015). Sua composição inclui água (88,65%), fibras (3,88%), carboidratos (2,65%), minerais (2,33%), proteínas (2,1%) e lipídios (0,51%). Em relação à alface, possui cerca de duas vezes mais proteínas, fibras e minerais.

Peixinho (*Stachys byzantina*)

O peixinho (Figura 5) é uma excelente fonte de fibras alimentares e minerais, especialmente potássio, cálcio e ferro (EMBRAPA, 2017e).

Contém água (75,33%), fibras (13,21%), carboidratos (4,23%), proteínas (4,14%), minerais (2,16%) e lipídios (0,93%). Comparado à alface, apresenta até sete vezes mais fibras, três vezes mais carboidratos e proteínas.

Bertalha (*Basella alba* L.)

A bertalha (Figura 6) é rica em ferro, cálcio e vitaminas A, B e C, além de possuir potencial antimicrobiano (EMBRAPA, 2017f). Sua composição inclui água (93,25%), fibras (2,02%), proteínas (2,01%), carboidratos (1,31%), minerais (1,2%) e lipídios (0,21%). Em relação à alface, a bertalha tem até duas vezes mais proteínas e três vezes mais minerais.

Azedinha (*Rumex acetosa*)

A azedinha (Figura 7) é rica em vitaminas A e C, além de minerais como ferro, magnésio e potássio (PSAE; IFSC, 2019). Contém água (92,13%), fibras (2,53%), proteínas (2,07%), carboidratos (1,95%), minerais (1,05%) e lipídios (0,27%). Comparada à alface, apresenta percentuais um pouco maiores de proteínas e fibras.

Caruru (*Amaranthus deflexus*)

O caruru (Figura 8) possui alto teor de aminoácidos essenciais e minerais como ferro e magnésio (KELEN *et al.*, 2015). Sua composição inclui água (76,17%), fibras (7,38%), carboidratos (6,31%), proteínas (5,58%), minerais (4,21%) e lipídios (0,35%). Em relação à alface, destaca-se pelos teores de proteínas, minerais e fibras, que podem ser até cinco vezes maiores.

Capuchinha (*Tropaeolum majus*)

A capuchinha (Figura 9) é rica em vitamina C, antocianinas e flavonoides, apresentando propriedades antioxidantes (KELEN *et al.*, 2015). Sua composição química inclui água (82,2%), carboidratos (5,17%), proteínas (5,0%), fibras (4,46%), minerais (1,53%) e lipídios (1,13%). Em comparação à alface, apresenta maiores teores de carboidratos, proteínas, fibras e minerais.

Taioba (*Xanthosoma sagittifolium*)

A taioba (Figura 10) é rica em carotenoides, fibras, cálcio e magnésio, além de vitaminas B e C (KELEN *et al.*, 2015). Contém água (86,58%), fibras (3,89%), carboidratos (4,12%), proteínas (3,05%), minerais (1,74%) e lipídios (0,62%). Em relação à alface, a taioba apresenta maiores teores de fibras, proteínas e minerais.

Figuras das plantas alimentícias não convencionais (PANCs)

Figura 1 – Jambu
(*Acmella oleracea*)



Fonte: Embrapa, 2017a.

Figura 2 – Serralha
(*Sonchus oleraceus*)



Fonte: Embrapa, 2017b.

Figura 3 – Beldroega
(*Portulaca oleracea*)



Fonte: Embrapa, 2017c.

Figura 4 – Ora-pro-nóbis
(*Pereskia aculeata*)



Fonte: Embrapa, 2017d.

Figura 5 – Peixinho
(*Stachys byzantina*)



Fonte: Embrapa, 2017e.

Figura 6 – Bertalha
(*Basella alba* L.)



Fonte: Embrapa, 2017f.

Figura 7 – Azedinha
(*Rumex acetosa*)



Fonte: Embrapa, 2017g.

Figura 8 – Caruru
(*Amaranthus deflexus*)



Fonte: Embrapa, 2017h.

Figura 9 – Capuchinha
(*Tropaeolum majus*)



Fonte: Brasil, 2010.

Figura 10 – Taioba
(*Xanthosoma sagittifolium*)



Fonte: Embrapa, 2017i.

Propriedades de interesse das PANCs

O crescente interesse pelas PANCs se deve ao desenvolvimento de estudos mais recentes sobre os seus nutrientes, sustentabilidade e variedade em potencial que essas plantas apresentam. São consideradas fontes de nutrientes como proteínas, carboidratos, minerais, vitaminas, além de fibras dietéticas e compostos fenólicos. Podem exercer também, devido à sua composição, efeitos antioxidantes e antimicrobianos, porém, algumas são tóxicas aos seres humanos (MILIÃO *et al.*, 2022; MOURA *et al.*, 2021).

Propriedades antimicrobianas e antioxidantes das PANCs

Liberato, Lima e Silva (2019) realizaram a caracterização química e de compostos bioativos da *Lactuca canadensis* L., que é popularmente conhecida como “almeirão roxo”, consumida como uma espécie de alface, frequentemente usada em sopas e saladas. Neste estudo as folhas da planta foram caracterizadas para que os compostos bioativos (antioxidantes e antimicrobianos) fossem testados em infusão e em extratos hidroetanólicos. Foi concluído que o almeirão roxo se mostrou eficaz em testes antioxidantes quando testado em infusão, já

suas propriedades antimicrobianas se mostraram presentes nos testes, mas ineficazes contra a maioria das espécies microbianas testadas.

De acordo com Azevedo (2018), as folhas de peixinho da horta (*Stachys byzantina* K. Koch) mostram um considerável teor de fenólicos totais. O extrato apresenta intensa atividade sequestrante de radicais livres. Além disso, a capacidade antioxidante total baseada na formação do complexo fosfomolibdênio é similar àquela encontrada na rutina. A avaliação da atividade antimicrobiana do extrato indicou inibição no crescimento das bactérias *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Klebsiella pneumoniae* e *Salmonella typhi*. Não apresentou efeito sobre *Enterobacter aerogenes*, *Escherichia coli* e *Candida albicans*. Não foi observada toxicidade no extrato por meio do teste com a *Artemia salina*. Portanto, o extrato de folhas de *S. byzantina* apresenta um efeito antioxidante e antimicrobiano substancial e constitui um aditivo natural promissor para o aumento do tempo de prateleira de produtos alimentícios, que satisfaz a preferência dos consumidores que buscam por alimentos isentos de ingredientes sintéticos.

Farfus *et al.* (2021) utilizaram o óleo essencial extraído do peixinho da horta (*Stachys byzantina*) para o teste de atividade antimicrobiana utilizando o método de disco de difusão. O resultado foi satisfatório frente à bactéria *L. monocytogenes*, mostrando ser possível a aplicação do peixinho da horta em filmes biodegradáveis como composto antimicrobiano natural.

Os trabalhos citados foram apenas exemplos de como essas propriedades podem ser encontradas em PANCs.

Fatores antinutricionais das PANCs

Assim como apresentam substâncias nutricionais essenciais para o nosso desenvolvimento, os alimentos ao mesmo tempo podem conter uma grande variedade de fatores antinutricionais, que são chamados assim por prejudicarem o aproveitamento total dos nutrientes ingeridos, podendo ser nocivo quando houver o seu consumo de forma

excessiva ou contínua (MOREIRA, 2016). Por isso a necessidade e a importância de identificar e conhecer as propriedades dessas plantas, para entender melhor a forma de inativar esses fatores.

Na Tabela 2 estão listados alguns desses fatores antinutricionais, suas características e principais alimentos (PANCs ou não) onde são encontrados.

De acordo com Moreira (2016), nos vegetais é possível encontrar a presença dos antinutrientes, que são substâncias que de alguma forma podem comprometer a absorção dos compostos nutricionais presentes nessas fontes alimentícias. Um antinutriente comum de se encontrar é o oxalato de cálcio, que é o produto final do metabolismo de aminoácidos e não pode ser metabolizado pelo organismo humano. O seu consumo em excesso está relacionado a casos de doenças renais onde consequentemente podem formar cristais e cálculos renais.

Tabela 2 – Fatores antinutricionais, suas características e onde são encontrados

Fator Antinutricional	Característica	Encontrado em
ÁCIDO OXÁLICO E ÁCIDO FÍTICO	Reduzem a absorção de ferro, cálcio, zinco e magnésio pela formação de compostos insolúveis.	Ácido oxálico: cenoura, couve-flor, espinafre, caruru, bertalha, azedinha Ácido fítico: aipo, cebola, espinafre, pequi
HEMAGLUTININAS	São enzimas que desnaturam as proteínas (proteases) e in vitro podem aglutinar os eritrócitos, mas são inativadas pelo calor.	Folhas de mamoneira e folhas de mandioca
SAPONINAS	São caracterizadas pelo sabor amargo, capazes de produzir espuma e hemólise dos glóbulos vermelhos in vitro.	Aspargo, açafrão, espinafre

continua

Fator Antinutricional	Característica	Encontrado em
SOLANINA	Glicosídeo tóxico, que pode ser parcialmente destruído pela cocção após completa remoção dos brotos.	Berinjela, batata, tomate
FATORES BOCIOGÊNICOS	Pode resultar em doenças associadas à falta de absorção de iodo, principalmente relacionado a doenças da síntese de hormônios tireoidianos.	Crucíferas (repolho, couve-flor, brócolis, espinafre)
ÁCIDO CIANÍDRICO	É venenoso a partir de certa dosagem tanto para o homem quanto para o animal, mas o calor faz com que evapore.	Mandioca-brava

Fonte: Moreira (2016).

Muitas plantas possuem, como mecanismos de defesa, a produção de metabólitos secundários. Entre as principais classes de metabólitos produzidos estão os alcaloides, glicosídeos cianogênicos, cumarinas, taninos e terpenos. Os alcaloides têm como principal função a defesa contra predadores, por isso seu consumo por humanos pode ser potencialmente tóxico dependendo da sua concentração (MOREIRA, 2016).

Aplicações na indústria de alimentos

Segundo De Vries *et al.* (2018) os alimentos juntamente com os sistemas alimentares precisam evoluir e o número de inovações possíveis é enorme, contudo, para isso acontecer devem ser atendidas três direções:

- Aumento da produção com o menor preço possível do produto final, além de diminuir o desperdício de alimentos e aumentar o consumo de fontes naturais;

- Inovar, mas produzindo alimentos mais saudáveis e mais sustentáveis;

- Utilizar fontes alimentares alternativas na produção dos alimentos e desenvolvimento de alimentos benéficos à saúde.

Todos os três fatores citados por De Vries *et al.* (2018) são alcançáveis através do uso das PANCs, pois o seu uso apresenta potencial para atingir todas essas características.

Nesse contexto, são detalhadas abaixo potenciais plantas ou produtos utilizando PANCs em sua produção, mostrando sua possível utilização na indústria de alimentos.

Na produção de enzimas vegetais, como a bromelina e a papaína, podem ser utilizadas a bananinha-do-mato/gravatá e a jaracatiá/mamãozinho-do-mato. A bromelina é extraída de algumas das espécies da família *Bromeliaceae*, geralmente é extraído do abacaxizeiro (*Ananas comosus*), mas a bananinha-do-mato/gravatá (*Bromelia antia-cantha* Bertol.) mostrou-se uma potencial fonte de extração desta enzima. Essa enzima vegetal tem função proteolítica, sendo muito utilizada em indústrias farmacêuticas e alimentícias. Nas indústrias de alimentos geralmente são utilizadas como amaciante de carnes e também possui funcionalidade na indústria cervejeira, principalmente na parte final da sua produção por sua capacidade de hidrólise de complexos tânico-proteica. Além disso, o seu uso aumenta a sensação de refrescância. A papaína é uma protease de origem vegetal também muito utilizada em indústrias alimentícias e farmacêuticas. Na indústria de alimentos é utilizada como amaciante em carnes; já na indústria cervejeira é utilizado como clarificante. A papaína pode ser encontrada e extraída no jaracatiá/mamãozinho-do-mato (*Jacaratia spinosa*.) (HEINICKE; GORTNER, 1957 *apud* KINUPP, 2007).

As farinhas das PANCs, misturadas ou não com as farinhas comerciais, têm sido apresentadas como uma opção para melhorar a composição nutricional dos produtos alimentícios, principalmente em termos de teor de proteínas ou fibras. Essas farinhas têm demonstrado que podem desempenhar até um papel tecno funcional,

mudando algumas características físico-químicas e reológicas do alimento. Esse fator é associado ao aumento do conteúdo proteico e a capacidade de absorção de água/óleo proporcionado pela adição da farinha das PANCs (MILIÃO *et al.*, 2022).

Martinevski (2011) utilizou a folha de bortalha (8%) e da ora-pro-nóbis (6%) para produzir respectivamente dois tipos de pão de forma. Foram realizadas análises sensoriais, química, de pH e sólidos solúveis dos pães elaborados. O autor verificou que as PANCs utilizadas podem ser igualmente nutritivas ou até um pouco mais nutritivas quando comparados aos vegetais já utilizados comumente. Sendo assim, o enriquecimento da massa de pães com as PANCs se mostrou uma opção interessante de aumento de fibras e proteínas. Além disso, os pães tiveram uma boa aceitação global: o pão preparado com a folha de bortalha teve nota 6,17 e o pão preparado com a ora-pro-nóbis obteve nota 7,0.

Ferreira *et al.* (2022) utilizou a farinha de hibisco (*Hibiscus sabdariffa* L.), na produção de biscoito. Com o objetivo de avaliar como responderia à substituição da farinha de trigo (FT) na receita do biscoito, foram produzidos dois tipos de biscoitos contendo 0% e 50% de farinha de hibisco (FH) substituindo parte da FT inclusa na receita. O resultado obtido demonstrou que a adição de 50% de FH, proporcionou um biscoito com maior teor de gorduras, fibras e minerais, ainda obteve menores valores de pH e atividade de água (Aw). Como resultado, foi deduzido que ao incluir 50% de FH, houve um aumento da quantidade de fibras no produto, o que possibilita ser classificado como funcional, além disso, os valores de pH e Aw encontrados garantem o aumento do tempo de prateleira do produto, por contribuírem como uma barreira aos microrganismos.

Já Ziegler *et al.* (2020) estudaram o enriquecimento nutricional de hambúrgueres bovinos pela adição de PANCs, utilizando a farinha da batata Yacon, moringa e ora-pro-nóbis como fonte de enriquecimento, após elas terem sido desidratadas e moídas. Foram feitas 10 formulações em que na formulação 1 (controle) havia proteína de

soja (5%) juntamente com carne bovina (75%) e temperos, as outras formulações utilizaram cada uma das PANCs para preparar a carne de hambúrguer em diferentes quantidades (2%, 4%, 6%) de farinha adicionada no lugar da proteína de soja. O resultado foi positivo, pois a adição das farinhas demonstrou uma melhora nutricional dos hambúrgueres, resultando no aumento do teor de proteínas, fibras alimentares e cinzas, além de apresentar uma pequena redução de gorduras e uma redução relevante de carboidratos. A aceitação do consumidor foi similar ao do hambúrguer convencional, sendo assim, a adição de PANCs como enriquecimento dos alimentos demonstra grande potencial com tendências a produtos mais saudáveis.

Da Silva *et al.* (2021) propuseram a elaboração de um molho de fruta agridoce obtido através de açaí e PANCs (vinagreira e João-gomes). Inicialmente foram desenvolvidos 14 protótipos de molhos. Foram realizadas análises físicas, físico-químicas, microbiológicas e sensoriais, sendo selecionados dois protótipos de molho, de acordo com as características e qualidades de interesse. A análise sensorial mostrou uma boa aceitação dos produtos, demonstrando características e qualidades semelhantes ao ketchup. Foi observado ainda, um bom potencial de maior segurança microbiológica e maior estimativa de vida útil, devido à atividade antioxidante e alta presença de compostos fenólicos nos protótipos escolhidos.

Outra aplicação encontrada em trabalhos de pesquisa foi a adição de PANCs na produção de sorvetes. Santos *et al.* (2022) estudaram a adição de ora-pro-nóbis em sorvete devido ao seu alto teor de proteínas (20% bs) e a sua alta taxa de digestibilidade (85%). Foi desenvolvido um sorvete funcional de alto teor proteico, fabricado a partir de ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Miller) e inulina. Foi realizada a análise de aminoácidos que, com exceção da metionina, foram encontrados valores iguais ou superiores aos recomendados pela FAO. Ao adicionar uma PANC em determinados produtos alimentícios, além de agregar valor nutricional, ajuda também na inovação trazendo características sensoriais únicas.

Entre produtos já comercializados, encontra-se a “Cachaça de Jambu”, que na verdade segundo a legislação brasileira (Decreto nº 6.871/2009), deveria ser vendida como aguardente composta, bebida mista ou até mesmo licor, de acordo com o seu teor alcoólico, ou ainda ser denominada “Aguardente de Jambu” (BRITO *et al.*, 2018). De acordo com Brito *et al.* (2018) em seu estudo em uma Empresa que atua no mercado da região metropolitana de Belém do Pará, na produção da cachaça de jambu podem ser utilizadas todas as partes da planta misturadas juntamente à aguardente e ao melaço de cana-de-açúcar. O apelo desta bebida está na adição de uma nova característica sensorial que a planta promove, causando dormência/formigamento em toda a boca, efeito causado pelo espilantol presente no jambu.

Considerações finais

Este capítulo possibilita entender um pouco mais sobre as PANCs, suas características, propriedades de interesse e uso na indústria de alimentos. Com isso, pode-se perceber a necessidade de maiores estudos na área, com o objetivo de investigar a fundo suas propriedades, diferentes usos em alimentos, manipulação e possíveis riscos.

Para se atingir os objetivos propostos, foi utilizado para efeito de comparação as características e propriedades de algumas PANCs, comparadas a hortaliças convencionais mais utilizadas. Além disso, foram elencados alguns estudos com a substituição ou uso de PANCs como insumos, em alguns alimentos que são industrializados normalmente.

Em relação às suas características e propriedades nutricionais (proteínas, carboidratos, fibras, minerais, antioxidantes etc.), os estudos relatados foram muito positivos, mostrando que as PANCs estão em posição de igualdade e até superioridade em vários nutrientes, quando comparadas às hortaliças convencionais, mostrando assim a possibilidade de seu uso direto na alimentação através de hortaliças minimamente processadas.

Já em relação ao seu uso na indústria de alimentos, seja como forma de substituição, novas formulações ou outras aplicabilidades, os trabalhos pesquisados demonstraram um grande potencial na utilização das PANCs, visto que os produtos em que foram utilizadas enriqueceram nutricionalmente, apresentaram boas características físico-químicas, além disso, houve aceitação sensorial e adição de novas características sensoriais positivas.

Contudo, para minimizar os riscos e possibilitar maior segurança dos alimentos, se faz necessários mais estudos sobre o uso das PANCs na alimentação e na indústria de alimentos. É necessário ainda, maior interesse no desenvolvimento de legislações referentes ao seu uso, suas características físico-químicas, identificação e classificação, para que assim, possa haver maior interesse comercial dessas espécies, desenvolvimento de variedades mais produtivas geneticamente e assim um conjunto maior de ingredientes disponíveis para a indústria alimentícia.

Referências

- AZEVEDO, T. D. **Propriedades nutricionais, antioxidantes, antimicrobianas e toxicidade preliminar do peixinho da horta** (*Stachys byzantina* K. Koch). 2018. 89 f. Dissertação (Mestrado em Alimentação e Nutrição) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.
- BORGES, L. S. **Biomassa, teores de nutrientes, espilantol e atividade antioxidante em plantas de jambu** (*Acmella ciliata* Kunth) sob adubações mineral e orgânica. 2009. 108 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Horticultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Botucatu, 2009. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/c7cceaad-e418-4f0c-9f30-989a5b1f5ad2/content>. Acesso em: 21 jun. 2024.

- BOTREL, N.; FREITAS, S.; FONSECA, M. J. O.; MELO, R. A. C.; MADEIRA, N. Valor nutricional de hortaliças folhosas não convencionais cultivadas no Bioma Cerrado. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, e2018174, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.17418>.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. **Hortaliças não-convencionais** (tradicionais). Brasília, DF: MAPA/ACS, 2010. 52 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/108985/1/Cartilha-Hortalicas-nao-convencionais.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2024.
- BRITO, A.; DAVID, A.; SANTOS, G.; BARROSO, E. Estudo e proposta de melhoria utilizando a análise *Swot* em uma fábrica de cachaça de jambu. In: **XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2018, Maceió, AL**. [S. l.: s. n.], 2018. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_264_515_36011.pdf. Acesso em: 22 maio 2024.
- CALICIOGLU, O.; FLAMMINI, A.; BRACCO, S.; BELLÙ, L.; SIMS, R. The future challenges of food and agriculture: An integrated analysis of trends and solutions. **Sustainability**, v. 11, n. 1, e222, jan. 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/1/222>. Acesso em: 20 jun. 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11010222>.
- CASEMIRO, Í. P.; VENDRAMI, A. L. A. 10 anos de Panc (Plantas alimentícias não convencionais) – Análise e tendências sobre o tema. **Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente**, v. 2, n. 3, p. 44–93, 2021.
- DA SILVA, M. M.; LEMOS, T. O.; RODRIGUES, M. C. P.; ARAÚJO, A. M. S.; GOMES, A. M. M.; *et al.* Sweet-and-sour sauce of assai and unconventional food plants with functional properties: An innovation in fruit sauces. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 25, e100372, 1 out. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100372>.

- DE VRIES, H.; MIKOLAJCZAK, M.; SALMON, J.-M.; ABECAS-SIS, J.; CHAUNIER, L.; *et al.* Small-scale food process engineering – Challenges and perspectives. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 46, p. 122–130, 1 abr. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.09.009>.
- EMBRAPA. **Hortalças não convencionais. Hortalças tradicionais:** jambu. Brasília, DF: Embrapa Hortalças, maio 2017a. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1071180/hortalicas-nao-convencionais-hortalicas-tradicionais-jambu>. Acesso em: 8 maio 2024.
- EMBRAPA. **Hortalças não convencionais. Hortalças tradicionais:** serralha. Brasília, DF: Embrapa Hortalças, maio 2017b. Disponível em: <https://www.embrapa.br/hortalicas/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1071191/hortalicas-nao-convencionais-hortalicas-tradicionais-serralha>. Acesso em: 8 maio 2024.
- EMBRAPA. **Hortalças não convencionais. Hortalças tradicionais:** beldroega. Brasília, DF: Embrapa Hortalças, maio 2017c. Disponível em: <https://www.embrapa.br/hortalicas/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1071378/hortalicas-nao-convencionais-hortalicas-tradicionais-beldroega>. Acesso em: 8 maio 2024.
- EMBRAPA. **Hortalças não convencionais. Hortalças tradicionais:** ora-pro-nóbis. Brasília, DF: Embrapa Hortalças, maio 2017d. Disponível em: <https://www.embrapa.br/hortalicas/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1071168/hortalicas-nao-convencionais-hortalicas-tradicionais-ora-pro-nobis>. Acesso em: 8 maio 2024.
- EMBRAPA. **Hortalças não convencionais. Hortalças tradicionais:** peixinho. Brasília, DF: Embrapa Hortalças, maio 2017e. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1071184/hortalicas-nao-convencionais-hortalicas-tradicionais-peixinho>. Acesso em: 8 maio 2024.
- EMBRAPA. **Hortalças não convencionais. Hortalças tradicionais:** bertalha. Brasília, DF: Embrapa Hortalças, maio 2017f.

- Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1071183/hortalicas-nao-convencionais-hortalicas-tradicionais-bertalha>. Acesso em: 8 maio 2024.
- EMBRAPA. **Hortalicas não convencionais. Hortalicas tradicionais:** azedinha. Brasília, DF: Embrapa Hortalicas, maio 2017g. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1071185/hortalicas-nao-convencionais-hortalicas-tradicionais-azedinha>. Acesso em: 8 maio 2024.
- EMBRAPA. **Hortalicas não convencionais. Hortalicas tradicionais:** amaranto e caruru. Brasília, DF: Embrapa Hortalicas, maio 2017h. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1071190/hortalicas-nao-convencionais-hortalicas-tradicionais-amaranto-e-caruru>. Acesso em: 8 maio 2024.
- EMBRAPA. **Hortalicas não convencionais. Hortalicas tradicionais:** taioba. Brasília, DF: Embrapa Hortalicas, maio 2017i. Disponível em: <https://www.embrapa.br/hortalicas/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1071385/hortalicas-nao-convencionais-hortalicas-tradicionais-taioba>. Acesso em: 8 maio 2024.
- ERICE, A. S. **Cultivo e comercialização de Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANC's) em Porto Alegre, RS.** 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- FAO; OPAS. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura e Organização Pan-Americana da Saúde. **América Latina e o Caribe: Panorama da Segurança Alimentar e Nutricional.** Santiago, 2017.
- FARFUS, A. P.; TEIXEIRA, S. D.; PEREIRA, E. A.; SANTOS, V. A. Q.; TOMAZINI, V. B.; ZANOELO, T. A.; SARTOR, J. F. Evaluation of the drying kinetic and antimicrobial activity of the essential oil and hydrolate of the aerial part of the *Panc Stachys byzantina*. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 17,

- p. e84101724265, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/24265>. Acesso em: 13 jun. 2024. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i17.24265>.
- FASOLIN, L. H.; PEREIRA, R. N.; PINHEIRO, A. C.; MARTINS, J. T.; ANDRADE, C. C. P.; *et al.* Emergent food proteins – Towards sustainability, health and innovation. **Food Research International**, v. 125, e108586, 1 nov. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108586>.
- FERREIRA, D. M.; CARVALHO, K. C. M.; NATEL, A. S.; AGUIAR, E. F.; SILVA, L. F. L. Caracterização químico-física de biscoito formulado com ou sem farinha de hibisco. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 2, e49011226094, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i2.26094>.
- KELEN, M. E. B.; NOUHUYS, I. S. V.; KEHL, L. C.; BRACK, P.; SILVA, D. B. **Plantas alimentícias não convencionais (PANCs): hortaliças espontâneas e nativas**. 1. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2015. 44 p.
- KINUPP, V. F. **Plantas alimentícias não-convencionais da região metropolitana de Porto Alegre, RS**. 2007. 562 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/12870/000635324.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 maio 2024.
- KINUPP, V. F.; LORENZI, H. **Plantas alimentícias não convencionais (PANC) no Brasil: guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas**. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum de Estudos da Flora Ltda, 2014. 768 p.
- KUNKEL, G. **Plants for human consumption**. Koeltz Scientific Books, Box 1360, Koenigstein, West Germany, 1984. 393 p.
- LEAL, M. L.; ALVES, R. P.; HANAZAKI, N. Knowledge, use, and disuse of unconventional food plants. **Journal of Ethnobiology**

- and **Ethnomedicine**, v. 14, n. 6, 17 jan. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13002-018-0209-8>.
- LIBERATO, P. da S.; LIMA, D. V. T.; SILVA, G. M. B. PANCs – Plantas alimentícias não convencionais e seus benefícios nutricionais. **Environmental Smoke**, v. 2, n. 2, p. 102–111, 2019. Disponível em: <https://environmentalsmoke.com.br/index.php/EnvSmoke/article/view/64>. Acesso em: 1 jun. 2024. DOI: <https://doi.org/10.32435/envsmoke.201922102-111>.
- MARTINEVSKI, C. S. **Caracterização de bertalha** (*Anredera cordifolia* (Ten.) Steenis) **e ora-pro-nobis** (*Pereskia aculeata* Mill.) **e sua utilização no preparo de pães de forma**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Nutrição) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- MILIÃO, G. L.; OLIVEIRA, A. P. H.; SOARES, L. S.; ARRUDA, T. R.; VIEIRA, E. N. R.; LEITE JÚNIOR, B. R. C. Unconventional Food Plants: nutritional aspects and perspectives for industrial applications. **Future Foods**, v. 5, e100124, 1 jun. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100124>.
- MOREIRA, L. N. **Técnica dietética**. 1. ed. Rio de Janeiro: SESES, 2016. 240 p. ISBN 978-85-5548-242-7. Disponível em: https://www.ibb.unesp.br/Home/ensino/departamentos/educacao/laboratorios/legislacaosanitaria/tecnica_dietetica.pdf. Acesso em: 23 maio 2024.
- MOURA, I. O.; SANTANA JÚNIOR, C. C.; LOURENÇO, Y. R. F.; SOUZA, M. F.; SILVA, A. R. S. T.; *et al.* Chemical characterization, antioxidant activity and cytotoxicity of the unconventional food plants: Sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) leaf, Major gomes (*Talinum paniculatum* (Jacq.) Gaertn.) and Caruru (*Amaranthus deflexus* L.). **Waste and Biomass Valorization**, v. 12, n. 5, p. 2407–2431, 1 maio 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01186-z>.
- NARCISA-OLIVEIRA, J.; SANTOS JÚNIOR, J. L.; SANTOS, R. N.; TIBURTINO-SILVA, L.; RIBEIRO, N. P. Plantas alimentícias

- não convencionais (PANCs) no município de Campo Grande-MS: conhecimento popular, consumo e comércio. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 2, p. 1–10, dez. 2018.
- PATERNIANI, E. Agricultura sustentável nos trópicos. **Estudos Avançados**, v. 15, n. 43, p. 303–326, dez. 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142001000300023>.
- PEDROSA, M. W.; MASCARENHAS, M. H. T.; FONSECA, M. C. M.; SILVA, A. F.; SANTOS, I. C.; *et al.* **Hortalças não convencionais: saberes e sabores**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2012. 26 p.
- POLLAN, M. **Em defesa da comida**: um manifesto. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Intrínseca, 2008. 272 p.
- PSAE; IFSC. Programa de Segurança Alimentar do Estudante – Instituto Federal de Santa Catarina. **Conhecendo as PANCs: Plantas alimentícias não convencionais**. Santa Catarina: PSAE/IFSC, 2019. Disponível em: https://www.ifsc.edu.br/documentos/30681/1733107/cartilha_PANCs_IFSC_2019.pdf/de1a-6241-47f4-4cb8-8013-4628f0661533. Acesso em: 24 maio 2024.
- SANTOS, P. P. A.; FERRARI, G. S.; ROSA, M. S.; ALMEIDA, K.; ARAÚJO, L. A.; PEREIRA, M. H. C.; WANDERLEY, M. E. F.; MORATO, P. N. Desenvolvimento e caracterização de sorvete funcional de alto teor proteico com ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Miller) e inulina. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 25, e2020129, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.12920>.
- TACO. **Tabela brasileira de composição de alimentos**/NEPA-UNICAMP. 4. ed. rev. e ampl. Campinas: NEPA – Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação – Unicamp, 2011. 161 p.
- TRIBUNA DE JUNDIAÍ. Inova na horta: 100% das escolas municipais vão receber horta com PANC em 2022. **Inova na horta: 100% das escolas municipais vão receber horta com PANC em 2022**. [S. l.: s. n.], [2022].

VIANA, F. L. E. Indústria de alimentos. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil. **Caderno Setorial Etene**, ano 4, n. 80, maio 2019. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1189/1/2019_CDS_80.pdf. Acesso em: 02 fev. 2024.

ZIEGLER, V.; UGALDE, M. L.; VEECK, I. A.; BARBOSA, F. F. Nutritional enrichment of beef burgers by adding components of non-conventional food plants. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, e2029030, 9 mar. 2020.

Ingredientes naturais – da extração de fontes vegetais à incorporação em matrizes alimentares: saudabilidade, sustentabilidade e inovação

*Ana Clara Nascimento Sobreira • Renato Jorge Cimero Calci •
Consuelo Domenici Roberto*

O comportamento dos consumidores demonstra maior consciência em relação à saúde e aos hábitos alimentares, além de maior preocupação com o desenvolvimento de doenças nutricionais. Consequentemente, há uma mudança nos hábitos de vida e crescente procura por alimentos nutritivos, cujo consumo possa resultar em benefícios adicionais à saúde (VERMA *et al.*, 2010; WEISS *et al.*, 2010; OLIVEIRA *et al.*, 2023; OLMEDILLA-ALONSO; JIMÉNEZ-COLMENERO; SÁNCHEZ-MUNIZ, 2013). Em relação à percepção de naturalidade e de saudabilidade, a visão do consumidor está relacionada à ausência de compostos químicos sintéticos em alimentos processados, que por sua vez é reforçada pela ideia de que, a adição de aditivos alimentares,

em conjunto com uma ingestão elevada e frequente de alimentos processados, estão entre os principais fatores que contribuem para uma alimentação inadequada e para o aumento do risco do desenvolvimento de doenças nutricionais na população (FRAQUEZA *et al.*, 2021). Nesse sentido, a substituição de aditivos alimentares por ingredientes extraídos de fontes naturais são demandas reais e recorrentes do mercado consumidor de alimentos.

Além da saudabilidade, a insegurança alimentar, o desperdício e perda de alimentos na produção e processamento e, consequentemente, o volume de resíduos e subprodutos gerados são questões críticas em relação à sustentabilidade econômica e social, à segurança alimentar e à preservação ambiental.

A perda de alimentos pode ser definida como a diminuição da quantidade ou qualidade dos alimentos resultante de decisões e ações dos fornecedores dentro da cadeia de suprimentos, excluindo varejo, prestadores de serviços de alimentação e consumidores. A perda quantitativa de alimentos refere-se à diminuição da massa do alimento destinado ao consumo humano enquanto a perda qualitativa refere-se à diminuição nos atributos dos alimentos em termos do uso pretendido, valor nutricional e, ou econômico ou por não conformidade em relação a um padrão de qualidade (FAO, 2019). Em relação à média global mundial, vegetais e frutas são responsáveis por 45% de perdas e desperdício de alimentos, seguido por pescados (35%), cereais (30%), e 20% tanto de produtos lácteos quanto de carnes. Estima-se que no mundo, há perda de cerca de 14% dos alimentos entre a colheita e a comercialização sendo que, em geral, frutas e vegetais correspondem às maiores perdas ao longo da cadeia produtiva em relação aos demais alimentos (IFCO system, 2024).

Embora com comprovação científica para aplicação em alimentos para consumo humano, o aproveitamento industrial de subprodutos e resíduos não é observado em larga escala (CARLINI *et al.*, 2023), assim como de partes comestíveis de vegetais e frutas provenientes das perdas que ocorrem durante as etapas de processamento. Em

geral, uma parte significativa do volume desse material é descartado, incinerado ou reaproveitado na fabricação de rações para alimentação animal, para compostagem ou na produção de biocombustíveis.

O emprego de técnicas para extração e incorporação de compostos bioativos em matrizes alimentares, além daquelas utilizadas na obtenção de farinhas ricas em fibras, proteínas e outros nutrientes, entretanto, possibilitam o aproveitamento integral da matriz vegetal como fonte natural de antimicrobianos, enzimas, antioxidantes e nutrientes.

O processo de extração de compostos bioativos pode ser realizado por tecnologias convencionais como Soxhlet, maceração e hidrodestilação, nas quais em geral são empregados solventes orgânicos. Entretanto, tecnologias de extração verde, tais como extração assistida por micro-ondas (MAE), por ultrassom (EAU) ou por enzima (EAE), extração com fluido supercrítico (SFE) ou com líquido pressurizado (PLE), extração por campo elétrico pulsado (PEF) e por alta pressão hidrostática (HHP), além das tecnologias de separação por membranas (MST), de descargas elétricas de alta voltagem (HVED) e hidrodestilação ôhmica, têm sido consideradas como técnicas capazes de melhorar a eficiência, sustentabilidade e economia do processo de extração (BAMPOULI *et al.*, 2014; MEGAWATI; SEDIAWAN; HISYAM, 2019; TABAN; SAHARKHIZ; NIAKOUSARI, 2018), o que promove, também, um modelo mais sustentável da cadeia produtiva de alimentos, reduzindo as perdas, gerando novos fluxos de receitas, e reduzindo ou eliminando o uso de solventes (AÏT-KADDOUR *et al.*, 2024; SOQUETTA *et al.*, 2018).

Para incorporação de compostos bioativos e nutrientes em matrizes alimentares, a eficiência de técnicas como microencapsulação, liofilização, atomização e desenvolvimento de filmes ativos e revestimentos, entre outras, foi relatada por Ballesteros *et al.*, (2017), Gómez *et al.* (2018), Yaghoubi *et al.* (2023). Já a secagem e trituração são técnicas simples e bastante utilizadas para fabricação de farinha,

facilitando a incorporação de fibras e outros nutrientes tanto em matrizes alimentares como diretamente na alimentação humana.

Assim, entende-se que o aproveitamento integral da matriz vegetal dentro da cadeia de suprimentos de alimentos, incluindo a valorização dos seus subprodutos e resíduos, tais como sementes, cascas, bagaços, folhas e caules, possibilita o desenvolvimento de novos produtos, novos ingredientes e a reformulação e enriquecimento de alimentos para consumo humano. Assim como o gerenciamento mais eficiente dos recursos e dos resíduos das agroindústrias com impactos positivos para um desenvolvimento sustentável em termos econômicos, sociais e ambientais.

Matrizes vegetais diversas: ingredientes naturais e fonte de compostos bioativos

Ingredientes podem ser definidos como substâncias, incluídos os aditivos alimentares, empregadas na fabricação ou preparo de alimentos, e que está presente no produto em sua forma original ou modificada. A categoria de novos alimentos e novos ingredientes é definida, de acordo com a Resolução RDC nº 839 de 18/12/2023 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), como alimentos e ingredientes alimentares sem histórico de consumo seguro no Brasil, obtidos de vegetais, animais, minerais, microrganismos, fungos, algas ou de forma sintética, sendo que a disponibilização desses novos alimentos e novos ingredientes no mercado requer autorização prévia da Anvisa mediante a comprovação da segurança de consumo (BRASIL, 2023).

Novos tipos de alimentos e ingredientes alimentares estão compreendidos no grupo dos mercados emergentes, tais como produtos e ingredientes e aditivos naturais e *clean label*, além de ingredientes obtidos de resíduos (*upcycled*), entre outros (GARCIA *et al.*, 2023).

Diferentes partes de frutas e vegetais apresentam, em geral, quantidades significativas de compostos bioativos e de nutrientes que, por sua vez apresentam potencial de aplicação como novos ingredientes, mediante comprovação científica e de segurança de consumo, em matrizes alimentares como produtos cárneos, lácteos, vegetais, panificados e bebidas. Nesse sentido, o aproveitamento integral de vegetais de forma tecnológica, incluindo subprodutos e resíduos, pode ocorrer pela obtenção de novos ingredientes derivados de vegetais, após, por exemplo, o emprego de processos para extração ou concentração seletiva de compostos com funções diversas como antimicrobianos, antioxidantes, enzimas, ou como fonte de nitrito, pigmentos, ou de nutrientes como amido, proteínas, fibras, ácidos graxos e outros, a serem utilizados no desenvolvimento de produtos para consumo humano, e, ainda, como substitutos parciais ou totais de ingredientes tradicionalmente adicionados em matrizes alimentares.

Além disso, o aproveitamento integral de vegetais e a valorização de subprodutos e resíduos gerados durante o processamento da matéria-prima vegetal representa uma estratégia eficiente para maximizar tanto os benefícios dos recursos disponíveis pelas agroindústrias e o gerenciamento de resíduos quanto para melhorar a segurança alimentar, a sustentabilidade e a circularidade nos sistemas alimentares, de forma a contribuir para minimizar o problema da perda de alimentos e da insegurança alimentar (AÏT-KADDOUR *et al.*, 2024).

A eficácia de fontes vegetais como beterraba, alface, espinafre, brócolis, rúcula e acelga, entre outras, quanto a efeitos antioxidantes, conservadores e como fonte de nitrito em produtos cárneos é relatada e discutida cientificamente por Martínez *et al.* (2020), Schopfer *et al.* (2022) e Sucu; Turp (2018).

Carlini *et al.* (2023) listam estudos publicados por diferentes autores no período de 2009 a 2021, nos quais subprodutos e resíduos do processamento de frutas e vegetais, tais como fibra de açaí, acerola em pó, casca de cenoura, pó de casca de pitaia, pó de casca de manga, talo e folha de brócolis, grão de cerveja (BSG), casca de maracujá,

pele e semente de tomate, farinha de bagaço de uva e bagaço de maçã são utilizados como ingredientes na fabricação de cookies, biscoitos, pães, massas, salsichas Frankfurt e salsichas defumadas, e iogurte.

A incorporação de polpa e de casca dos frutos da palmeira Juçara (*Euterpe edulis*) adicionadas como fonte de fibras, de compostos fenólicos e como ingrediente em diferentes matrizes alimentares como iogurte simbiótico, patê de presunto e salsicha de frango foram relatadas por Leite *et al.* (2018), Viera (2016) e Flores (2015), respectivamente.

A polpa de frutos da palmeira Juçara (*Euterpe edulis*), cuja composição apresentava teor de fibras totais de 5,40%, fibras insolúveis de 3,63%, e fibras solúveis de 1,77%, teor de conteúdo fenólico total de $812,32 \pm 18,94$ mg equivalente de ácido gálico/100 g, de teor de antocianinas de $245,85 \pm 9,45$ mg de antocianinas/100g, e atividade antioxidante de $44,29 \pm 1,46$ μ mol Trolox/g determinada pelo método de captura do radical ABTS, quando incorporada como ingrediente em iogurte simbiótico adicionado de inulina, além de aumentar o teor de compostos fenólicos totais, resultou em maior atividade antioxidante e favoreceu a multiplicação e a viabilidade de bactérias probióticas (LEITE *et al.*, 2018). Em patês de presunto, farinha de casca de frutos de Juçara, com teores de fibras alimentares de $85,29 \pm 5,96$ %, sendo $76,97 \pm 6,87$ (%) de fibras solúveis e $8,32 \pm 1,19$ (%) de fibras insolúveis, teor de compostos fenólicos totais de $361,76 \pm 2,93$ mg equivalente de ácido gálico/100g e atividade antioxidante de $85,30 \pm 4,36$ μ mol Trolox/g determinada pelo método de captura do radical ABTS, foi incorporada como substituto parcial de gordura e fonte de compostos fenólicos apresentando resultados promissores (VIEIRA, 2016).

Proteases presentes em extrato obtido a partir de rizomas de gengibre (*Zingiber officinale* Roscoe), com atividade máxima a 60 °C e pH de 5,5, quando aplicadas em peito de frango resultou na hidrólise da fração miofibrilar da carne e, portanto, fragmentação das miofibrilas, promovendo uma redução da força de cisalhamento e, conferindo menos resistência ao corte, melhor textura e maciez ao peito de

frango (CRUZ *et al.*, 2020). Já para verificar o efeito antimicrobiano de óleo essencial extraído de folhas da espécie *Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng., popularmente conhecida como malvarisco e hortelã-da-folha-grossa, entre outras denominações, Silva *et al.*, (2022) determinaram inicialmente a concentração mínima inibitória (MIC) e a concentração mínima bactericida (MBC) contra bactérias patogênicas *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Salmonella Typhimurium* e *Listeria monocytogenes*. Além disso, o óleo essencial, cujo componente majoritário foi o timol, apresentou amplo espectro de ação com resultados significativos para redução de células viáveis e atividade antiadesão contra *E. coli* (bactéria Gram-negativa) e *L. monocytogenes* (bactéria Gram-positiva).

Outros estudos evidenciam a atividade antimicrobiana e, ou antioxidante de óleos essenciais e extratos, ambos obtidos por diferentes métodos de extração, com potencial para aplicação em matrizes alimentares como aqueles realizados por Hadidi *et al.* (2022), Xin *et al.* (2022), Radünz *et al.* (2019), Armenteros *et al.* (2016), Martín-Sánchez *et al.* (2011) ou como fontes de nutrientes ou substitutos de ingredientes tradicionais como documentado por Oliveira *et al.* (2023), Gattuso *et al.* (2023), Charlie, Angrainy e Kantrong (2025) e Natolino *et al.* (2025).

O comportamento de compostos naturais em alimentos, no entanto, depende da matriz na qual são incorporados. Matrizes alimentares, em geral, são complexas em função da sua composição química diversa em relação a teores de proteínas, lipídeos, água, da presença de minerais e íons metálicos como o ferro, cobre e outros, além de sais minerais, lipases, proteases e outros constituintes, que podem levar a múltiplas interações físicas e químicas com os compostos naturais e reduzir tanto a eficiência desses compostos como a conservação, segurança e valor nutricional das matrizes alimentares.

Portanto, apesar dessa tendência crescente da adição de novos ingredientes naturais e compostos bioativos extraídos de fontes vegetais em alimentos processados, deve-se ressaltar a importância

da necessidade de se avaliar o efeito da incorporação desses novos ingredientes nas características físico-químicas, sensoriais e microbiológicas, bem como na estabilidade oxidativa, microbiológica, química e alterações sensoriais durante o período de armazenamento desses alimentos.

Tecnologias para incorporação de compostos bioativos em matrizes alimentares

A incorporação de compostos bioativos em matrizes alimentares demonstra ser uma estratégia promissora, cujos benefícios tecnológicos em relação à capacidade antioxidante e antimicrobiana de polifenóis, carotenoides e terpenos, por exemplo, são amplamente documentados, além dos efeitos biológicos benéficos desses compostos como ação anti-inflamatória, redução do estresse oxidativo e outros (REZAGHOLIZADE-SHIRVAN *et al.* 2024; LOURENÇO; MOLDÃO-MARTINS; ALVES, 2019).

Ingredientes derivados de vegetais e de condimentos e especiarias de fontes diversas como laranja, acerola, alecrim, páprica, alho, orégano, e de folhas de beterraba, alface, rúcula, espinafre, agrião, aipo e acelga, como fonte de polifenóis e de nitrato, foram incorporados em sistema modelo cárneo suíno oxidado com azoiniciadores hidrofílico (AAPH) e lipofílico (AMVN) para verificar o efeito antioxidante contra oxidação lipídica e proteica. Os autores relataram que o efeito antioxidante dos diferentes ingredientes ocorreu por mecanismos diversos como sequestro de radicais livres e proteção de grupos tióis em proteínas, entretanto, alguns ingredientes apresentaram efeito pro-oxidante nas concentrações adicionadas (MARTÍNEZ *et al.* 2020). Para substituição parcial de nitrito de sódio em carne de carneiro, Xin *et al.* (2022) estudaram o efeito de diferentes combinações de casca de pitaia e óleo essencial de semente de limão. Já o efeito de diferentes concentrações de óleo essencial de pimenta do

reino no índice de oxidação lipídica, cor, porcentagem de metamioglobina, contagens de *Pseudomonas* spp. e *Enterobacteriaceae* e bases nitrogenadas voláteis totais em lombos suínos armazenados a 4 °C por 9 dias foi determinado por Zhang *et al.* (2016). Os resultados dessa pesquisa demonstraram a eficiência do óleo essencial na inibição da oxidação lipídica, na formação de metamioglobina, que confere coloração escura à carne, e na inibição da multiplicação de bactérias Gram negativas (*Pseudomonas* spp. e *Enterobacteriaceae*).

Mancini *et al.* (2017) destacaram o potencial de aplicação do gengibre como aditivo e ingrediente natural, após adição do pó nas concentrações de 1 e 2% em hambúrgueres processados a partir do músculo *Longissimus dorsi* de suínos e armazenados a 4 °C por 7 dias. Os autores evidenciaram o efeito do gengibre em pó no aumento do teor de ácidos graxos poliinsaturados, alteração no perfil de ácidos graxos com aumento da proporção dos ácidos ômega 3 e ômega 6, aumento da atividade antioxidante determinada pelos métodos de sequestro do radical ABTS, inibição do radical DPPH e FRAP, e redução no índice de oxidação lipídica dos hambúrgueres. Porém relataram alteração na cor, que tendeu a amarelo. Foi observado também a inibição de *Pseudomonas* spp. durante o armazenamento a 4 °C por 7 dias, estendendo a vida de prateleira dos hambúrgueres. Os autores concluíram que a adição de gengibre em pó influenciou o tempo de vida de prateleira e melhorou as propriedades nutricionais e funcionais dos hambúrgueres. Por último, Silva *et al.*, (2022) demonstrou o potencial de utilização do óleo essencial extraído de *P. amboinicus* (Lour.) Spreng., como conservante natural em matriz cárnea, que forneceu proteção adicional contra o desenvolvimento de *E. coli* e *L. monocytogenes* em hambúrguer bovino armazenado a 7 °C por 15 dias.

Entretanto, a incorporação de compostos bioativos, na forma de óleos essenciais ou extratos hidroalcoólicos vegetais, e de nutrientes em matrizes alimentares apresenta desafios relevantes, devido a fatores como a natureza complexa das matrizes, as possíveis interações que podem ocorrer entre os componentes da matriz e os

compostos bioativos, a baixa estabilidade química desses compostos sob as condições de processamento como calor, variações de pH, exposição à luz, oxigênio e à ação enzimática, etc., e, devido, também, aos potenciais impactos nas características sensoriais dos alimentos que podem interferir na aceitação pelo consumidor (CAO *et al.*, 2021, SILVA *et al.* 2021).

Diferentes técnicas como microencapsulação e nanotecnologia são amplamente estudadas como forma de preservar as propriedades e biodisponibilidade de compostos bioativos e de permitir sua liberação controlada em matrizes alimentares, além de possibilitar o desenvolvimento de filmes ativos e revestimentos para incorporação nos alimentos (BALLESTEROS *et al.*, 2017; CARNEIRO, 2017), porém nem todas as técnicas são fáceis de adaptar à escala industrial (BARROSO *et al.*, 2021).

Na incorporação de suco de amora concentrado em carne suína picada, Cheng *et al.*, (2019) relataram redução significativa da oxidação lipídica e proteica na carne submetida a secagem seguida de cozimento, com diminuição dos valores de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) e do conteúdo de carbonilas, ambos indicadores de oxidação lipídica e proteica, respectivamente. Entretanto, apesar de considerarem que o suco concentrado de amora poderia ser utilizado como um antioxidante natural, os autores ressaltaram a importância da otimização do processo de tratamento térmico e da adição de β -ciclodextrina para minimizar a degradação de compostos antioxidantes, como antocianinas, flavonoides e ácidos fenólicos e para recuperação dos polifenóis extraíveis na carne de porco fatiada, seca e cozida, melhorando, assim, a estabilidade desses compostos durante o armazenamento da carne.

O potencial de utilização de microcápsulas de *Lactococcus lactis* subsp. *Lactis*, microencapsulada com soro de leite e inulina, quando aplicada em diferentes matrizes alimentares, como suco de mirtilo, leite e creme de leite, e no desenvolvimento de novos produtos probióticos submetidos a processamento térmico foi demonstrada por

Rosolen *et al.* (2022), que relataram resultados promissores. Já em bebida probiótica de chá verde pronta para consumo, para evitar a fermentação indesejada do produto pelos probióticos além da perda de polifenóis durante a vida de prateleira, uma alternativa avaliada por Hernández-Barrueta *et al.*, (2020) foi a utilização de cultura de *Lactobacillus rhamnosus* GG microencapsulada por *spray drying* em uma matriz de isolado de proteína de soro de leite e amido modificado. Nesse estudo, os autores observaram que apesar de observada uma diminuição na contagem, a viabilidade de microrganismos probióticos permaneceu acima de 7 log UFC/mL, não sendo observadas alterações significativas no teor de polifenóis e da capacidade antioxidante da bebida, porém houve alteração na cor e rejeição de 50% do produto pelos consumidores.

Extração de compostos bioativos de fontes vegetais

A obtenção de compostos bioativos e nutrientes é influenciada por diversos fatores como o método de extração, incluindo parâmetros como tamanho das partículas, tipo de solvente, tempo e temperatura de extração, assim como pela natureza da matriz vegetal.

A extração sólido-líquido de substâncias de matrizes vegetais pode ser realizada por métodos como Soxhlet, no qual o material vegetal é exposto repetida vezes ao contato com um solvente orgânico que facilita a transferência de massa, não sendo necessária a filtração, porém esse processo pode promover a degradação térmica e contaminação do extrato com resíduos de solvente orgânico. Outro método convencional para produção de extratos é a maceração, em que o material vegetal permanece em contato com um solvente orgânico por um período determinado sob agitação, entretanto, em geral, não é um processo eficiente em relação à extração de compostos bioativos, devido à saturação do solvente extrator ou a um equilíbrio entre o solvente e o material sob extração. Além disso, a utilização

de maiores quantidades de solventes orgânicos implica em geração de resíduos orgânicos e impactos ambientais negativos (JUSTINO *et al.*, 2022; LASTA, 2017).

Essas tecnologias convencionais que, em geral, utilizam solventes orgânicos, aplicação de calor e agitação já são amplamente utilizadas, no entanto, apresentam desvantagens como o alto consumo de energia, menor eficiência de extração, geração de resíduos e longo tempo de processo (PAVLIĆ *et al.*, 2017). A aplicação de tecnologias mais eficientes com redução ou eliminação do uso de solventes orgânicos e do gasto de energia é imprescindível em processos que visam produtividade de forma sustentável e circular (MINJARES-FUENTES *et al.*, 2016). Nesse sentido, as tecnologias de extração assistida ou tecnologias verdes, em geral, fornecem uma melhor eficiência de extração e rendimento com redução da degradação dos compostos extraídos quando comparadas às tecnologias convencionais e demandam um menor tempo operacional (PUTNIK *et al.*, 2018; ROSELLÓ-SOTO *et al.*, 2015), além dos extratos obtidos de diferentes matrizes alimentares tenderem a apresentar maiores concentrações de compostos bioativos e um aumento de suas propriedades funcionais (GALANAKIS, 2021).

O emprego das técnicas de extração assistida por ultrassom, extração com fluido supercrítico ou com líquido pressurizado e extração por campo elétrico pulsado, entre outras têm apresentado resultados melhores não somente em relação à eficiência e à redução da degradação dos componentes dos extratos, mas também porque utilizam menores quantidades ou eliminam o uso de solventes (AÏT-KADDOUR *et al.*, 2024; SOQUETA *et al.*, 2018). Tais técnicas têm se destacado na valorização de resíduos e subprodutos de frutas e vegetais (AZMIR, *et al.* 2013), por promoverem um processo de extração relativamente rápido, com maior rendimento, sendo também adequadas para a extração de compostos termossensíveis como alguns pigmentos, polifenóis, enzimas e outros (SOQUETTA *et al.*, 2018; MIĘKUS, *et al.* 2019).

Tecnologias verdes para extração de compostos bioativos de matriz vegetais

Nas matrizes vegetais, as diferentes técnicas baseadas em métodos mecânicos, químicos, térmicos ou elétricos podem ser usadas para afetar as membranas celulares, cuja permeabilidade ou ruptura física facilita a difusão dos compostos a serem extraídos, reduzindo o tempo de extração, aumentando a eficiência do processo e minimizando a degradação de componentes das respectivas matrizes (SIEMER; TOEPFL; HEINZ, 2012; GALANAKIS, 2012; BARBA *et al.*, 2015).

Os efeitos positivos da extração e recuperação de compostos bioativos, como flavonóides de bagaço de maçã, antocianinas em bagaço de uva, compostos fenólicos em cascas de cacau e óleos essenciais de casca de laranja, empregando-se a técnica de extração supercrítica, em que o fluido supercrítico como o dióxido de carbono (CO₂) tem suas propriedades físicas de solvatação e difusividade aumentadas quando submetido a condições de pressão e temperatura acima do seu ponto crítico, foram demonstrados por Mikšovsky, *et al.* (2024), Farías-Campomanes; Rostagno; Meireles, (2013), Valadez-Carmona, *et al.* 2018; Felicia, *et al.* (2024).

O aumento da eficiência de extração de compostos fenólicos e pectina em frutas tropicais e subtropicais pelo método de extração assistida por ultrassom, quando comparado àquele obtido pelos métodos convencionais, foi demonstrado por Picot-Allain *et al.*, (2021), Goltz *et al.*, (2018), Kazemi *et al.*, (2019), Chutia; Mahanta, (2021), Vakilian *et al.*, (2024), Silva *et al.*, (2020), sendo tal técnica considerada uma alternativa viável e sustentável a ser adotada para obtenção de compostos bioativos em resíduos e subprodutos de frutas como uva, maracujá e acerola provenientes de processos industriais. Diversas aplicações da referida técnica na extração de compostos bioativos de diferentes matrizes foram relatadas por Chemat *et al.*, (2017), tais como antioxidantes de casca de romã, de fruta de *Zyzyphus lotus*, de casca de jabuticaba, de sementes de uva (*Vitis vinifera*) e de alecrim,

carotenoides de polpa de tomate, corante natural de casca de romã (*Punia granatum*) e compostos aromáticos do alho, entre outros.

A extração assistida por ultrassom é uma técnica empregada visando melhorar a transferência de calor e massa através da matriz vegetal por promover a ruptura das membranas celulares devido ao efeito da cavitação, que gera um estresse mecânico nas células vegetais (PLAZZOTTA; MANZOCOO, 2018), entretanto, Chemat *et al.*, (2017) examinaram detalhadamente inúmeros estudos sobre aplicação da técnica assistida por ultrassom e concluíram que diferentes mecanismos independentes ou combinados, entre fragmentação, erosão, capilaridade, detexturação, sonoporação, alta tensão de cisalhamento, são responsáveis pela eficiência e melhor rendimento no processo de extração de componentes em matrizes diversas.

A extração rápida de compostos bioativos com uso de pequena quantidade de solvente é possível empregando-se a técnica de extração assistida por líquido pressurizado, em razão da aplicação de alta pressão e temperatura em uma condição que mantém o solvente em estado líquido mesmo quando a temperatura de extração for superior ao ponto de ebulição do solvente (JUSTINO *et al.*, 2022; LASTA, 2017). O método baseia-se na utilização de solventes líquidos a uma temperatura e pressão acima do ponto de ebulição normal do solvente, o que produz uma redução na tensão superficial do solvente, facilitando sua penetração nos poros da matriz e alterando a permeabilidade celular, o que acelera o processo de extração (KHAN; ASLAM; MAKROO, 2019; SOQUETTA *et al.*, 2018; PRONYK; MAZZA, 2009). O princípio da técnica é semelhante à extração convencional pelo método Soxhlet, no entanto a alta pressão mantém o solvente abaixo do ponto de ebulição, degradando menos os compostos termossensíveis, e reduzindo significativamente o tempo de extração e a quantidade de solvente utilizada, sendo recomendada na extração de compostos como betalaínas, antocianinas e carotenóides (CARDENAS-TORO *et al.*, 2015; GÓMEZ-LÓPEZ, *et al.* 2022; LEONARSKI *et al.* 2023; WANG, *et al.* 2023).

Na técnica de extração assistida por campo magnético pulsado o aumento da transferência de massa na matriz depende da força do campo elétrico, número de pulsos, temperatura de tratamento, entre outros fatores, que promovem a formação de poros ou eletroporação, o aumento da permeabilidade da membrana celular e desestabilização da bicamada lipídica das células (JUSTINO *et al.*, 2022; LASTA, 2017). O princípio da técnica se baseia na indução da eletroporação da membrana celular pela passagem de um potencial elétrico que separa as moléculas de acordo com sua carga. Essa repulsão forma poros, rompendo as estruturas da membrana e aumentando sua permeabilidade e, conseqüentemente, promovendo uma melhor extração dos compostos, aumentando o rendimento e reduzindo o tempo de extração (SOQUETTA; TERRA; BASTOS, 2018; REDONDO *et al.* 2018). As principais vantagens do método incluem a não utilização de temperaturas elevadas, baixo consumo de energia, alta eficiência de extração e baixo custo de processo. Quanto à aplicação, a extração por campos elétricos pulsados pode ser usada para extrair pigmentos, polifenóis, proteínas e carboidratos (DONG *et al.*, 2020; LAKKA *et al.* 2021).

Considerações finais

O aproveitamento integral de vegetais e frutas como fonte de compostos bioativos e ingredientes naturais é uma alternativa ao desenvolvimento de novos ingredientes ou produtos, como extratos derivados de vegetais e produtos *clean-label*, ou para substituição de ingredientes tradicionalmente utilizados na fabricação de alimentos processados, buscando atender a uma tendência do mercado consumidor de alimentos ligada às questões de percepção de saudabilidade e de naturalidade. Entretanto, ressalta-se a necessidade da comprovação científica da eficiência desses novos ingredientes naturais em

relação à conservação e às características físico-químicas, microbiológicas e sensoriais de alimentos para consumo humano nos quais serão incorporados.

A valorização dos resíduos e subprodutos das indústrias tem sido impulsionada através da utilização dessas técnicas emergentes de processamento para a extração e recuperação de compostos bioativos. Em comparação com os métodos tradicionais de extração, os métodos de extração verde são promissores, atuando em consonância com a circularidade dos recursos e a sustentabilidade. A utilização combinada de diferentes técnicas potencializa os resultados, tornando os processos mais eficientes na recuperação de compostos de interesse, na redução da geração de resíduos e na otimização do consumo de recursos naturais. Além dos benefícios ambientais, a integração dessas estratégias fortalece a viabilidade econômica das indústrias, garantindo conformidade com regulamentações ambientais e atendendo às crescentes demandas do mercado por práticas mais sustentáveis.

Referências

- AÏT-KADDOUR, A. *et al.* Transforming plant-based waste and by-products into valuable products. **Science of the Total Environment**, v. 955, 176872, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176872>.
- ARMENTEROS, M.; MORCUENDE, D.; VENTANAS, J.; ESTÉVEZ, M. The application of natural antioxidants via brine injection protects Iberian cooked hams against lipid and protein oxidation. **Meat Science**, v. 116, p. 253-259, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.02.027>.
- AZMIR, J. *et al.* Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 117, n. 4, p. 426-436, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014>.

- BALLESTEROS, L. F. *et al.* Encapsulation of antioxidant phenolic compounds extracted from spent coffee grounds by freeze-drying and *spray-drying* using different coating materials. **Food Chemistry**, v. 237, p. 623-631, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.142>.
- BAMPOULI, A. *et al.* Comparison of different extraction methods of *Pistacia lentiscus* var. *chia* leaves: Yield, antioxidant activity and essential oil chemical composition. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, v. 1, n. 3, p. 81-91, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2014.07.001>.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 839, de 14 de dezembro de 2023. **Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 839, de 14 de dezembro de 2023**. Dispõe sobre a comprovação de segurança e a autorização de uso de novos alimentos e novos ingredientes. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: https://anvisa.gov.br/legis/datalegis.net/action/ActionDatalegis.php?acao=abrirTextoAto&link=S&tipo=RDC&numeroAto=00000839&seqAto=000&valorAno=2023&orgao=RDC/DC/ANVISA/MS&cod_modulo=310&cod_menu=8542. Acesso em: 7 fev. 2025.
- CAO, H. *et al.* Available technologies on improving the stability of polyphenols in food processing. **Food Frontiers**, v. 2, p. 109-139, 2021. <https://doi.org/10.1002/fft2.65>.
- CARDENAS-TORO, F. P. *et al.* Pressurized liquid extraction and low-pressure solvent extraction of carotenoids from pressed palm fiber: Experimental and economical evaluation. **Food and Bioproducts Processing**, v. 94, p. 90-100, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2015.01.006>.
- CARLINI, N. R. B. S. *et al.* Fruit and vegetable by-products as functional ingredients: what are the limitations for large-scale industrial processing as powder? **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v.

40, e27272, 2023. <https://doi.org/10.35977/0104-1096.cct2023.v40.27272>.

- CARNEIRO, A. P. G. **Encapsulação de subproduto industrial de acerola em matriz composta de goma arábica e malto-dextrina para aplicação em alimentos**: desenvolvimento, caracterização e estabilidade. 2017. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/24972>. Acesso em: 5 fev. 2025.
- CHARLIE, E. A.; ANGRAINY, H.; KANTRONG, H. Exploring the use of rice bran and mung bean as soy substitutes in low-moisture extruded plant-based meat. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 100, 103916, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2024.103916>.
- CHEMAT, F. *et al.* Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications: A review. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 34, p. 540-560, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.035>.
- CHENG, J.-R. *et al.* The effects of thermal processing and beta-cyclodextrin on extractable polyphenols in mulberry juice-enriched dried minced pork slices. **LWT**, v. 116, 108503, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108503>.
- CHUTIA, H.; MAHANTA, C. L. Green ultrasound and microwave extraction of carotenoids from passion fruit peel using vegetable oils as a solvent: Optimization, comparison, kinetics, and thermodynamic studies. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 67, 102547, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102547>.
- CRUZ, P. L. *et al.* Effect of proteases from ginger rhizome on the fragmentation of myofibrils and tenderness of chicken breast. **LWT**, v. 120, 108921, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108921>.
- DONG, M. *et al.* Physicochemical and structural properties of myofibrillar proteins isolated from pale, soft, exudative (PSE)-like

- chicken breast meat: Effects of pulsed electric field (PEF). **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 59, 102277, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102277>.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The state of food and agriculture 2019: Moving forward on food loss and waste reduction**. Roma: FAO, 2019. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/11f9288f-dc78-4171-8d-02-92235b8d7dc7/content>. Acesso em: 7 fev. 2025.
- FARÍAS-CAMPOMANES, A. M.; ROSTAGNO, M. A.; MEIRELES, M. A. A. Production of polyphenol extracts from grape bagasse using supercritical fluids: Yield, extract composition and economic evaluation. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 77, p. 70-78, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2013.02.006>.
- FELICIA, W. X. L. *et al.* Optimization of supercritical fluid extraction of orange (*Citrus sinensis* L.) peel essential oil and its physicochemical properties. **Current Research in Green and Sustainable Chemistry**, v. 8, 100410, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2024.100410>.
- FLORES, R. V. **Atividade antioxidante, oxidação lipídica e aceitação sensorial em salsichas de frango adicionadas de extrato de Juçara**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2017. Disponível em: https://sappg.ufes.br/tese-drupal//tese_9491_Disserta%E7%E3o%20Final%20de%20Mestrado%20-%20Rafaela%20Ven%E2ncio%20Flores%20%20%20PDF..pdf. Acesso em: 5 fev. 2025.
- FRAQUEZA, M. J.; LARANJO, M.; ELIAS, M.; PATARATA, L. Microbiological hazards associated with salt and nitrite reduction in cured meat products: Control strategies based on antimicrobial effect of natural ingredients and protective microbiota. **Current Opinion in Food Science**, v. 38, p. 32-39, 2021.

- GALANAKIS, C. M. Functionality of food components and emerging technologies. **Foods**, v. 10, n. 1, 128, 2021. <https://doi.org/10.3390/foods10010128>.
- GALANAKIS, C. M. Recovery of high added-value components from food wastes: Conventional, emerging technologies and commercialized applications. **Trends in Food Science & Technology**, v. 26, n. 2, p. 68-87, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.03.003>.
- GARCIA, E. E. C. *et al.* **Brasil Food Safety Trends 2030**: transformações, tendências e desafios para a governança e a gestão da segurança dos alimentos. Campinas: ITAL, 2023.
- GATTUSO, A. *et al.* Fortification of vegetable fat with natural antioxidants recovered by bergamot pomace for use as an ingredient for the production of biscuits. **Sustainable Food Technology**, v. 1, p. 951-961, 2023. <https://doi.org/10.1039/d3fb00125c>.
- GOLTZ, C. *et al.* Ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from Macela (*Achyrocline satureioides*) extracts. **Industrial Crops and Products**, v. 115, p. 227-234, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.013>.
- GÓMEZ, B. *et al.* Microencapsulation of antioxidant compounds through innovative technologies and its specific application in meat processing. **Trends in Food Science & Technology**, v. 82, p. 135-147, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.10.006>.
- GÓMEZ-LÓPEZ, I. *et al.* Pressurized green liquid extraction of betalains and phenolic compounds from *Opuntia stricta* var. *Dillenii* whole fruit: Process optimization and biological activities of green extracts. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 80, 103066, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103066>.
- HERNÁNDEZ-BARRUETA, T. *et al.* Encapsulation of probiotics in whey protein isolate and modified huauzontle's starch: An approach to avoid fermentation and stabilize polyphenol

- compounds in a ready-to-drink probiotic green tea. **LWT**, v. 124, e109131, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109131>.
- IFCO SYSTEM. **ESG Report 2024 – Advancing through circularity together**. [S. l.: s. n.], 2024. Disponível em: <https://www.ifco.com/about-ifco/sustainability/esg-report-2024/>. Acesso em: 7 fev. 2025.
- JUSTINO, H. de F. M. *et al.* Use of unconventional technologies to extract bioactive compounds from fruit and vegetable by-products: review. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 14, 2022. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i14.35488>.
- KAZEMI, M.; KHODAIYAN, F.; HOSSEINI, S. S. Eggplant peel as a high potential source of high methylated pectin: Ultrasonic extraction optimization and characterization. **LWT**, v. 105, p. 182-189, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.060>.
- KHAN, S. A.; ASLAM, R.; MAKROO, H. A. High pressure extraction and its application in the extraction of bioactive compounds: A review. **Journal of Food Process Engineering**, v. 42, n. 1, e12896, 2019. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12896>.
- LAKKA, A. *et al.* Avaliação da extração de polifenóis de campo elétrico pulsado de *Vitis vinifera*, *Sideritis scardica* e *Crocus sativus*. **ChemEngineering**, v. 5, n. 2, p. 25, 2021. <https://doi.org/10.3390/chemengineering5020025>.
- LASTA, H. F. B. **Potencial antioxidante dos extratos dos resíduos de beterraba vermelha (*Beta vulgaris* L.) obtidos a alta e a baixa pressão**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/182887/349727.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 7 fev. 2025.
- LEITE, S. T. *et al.* Polpa de juçara: fonte de compostos fenólicos, aumento da atividade antioxidante e da viabilidade de bactérias probióticas de iogurte. **Revista Ceres**, v. 65, n. 1, p. 16-23, 2018. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201865010003>.

- LEONARSKI, E. *et al.* Pressurized liquid extraction as an eco-friendly approach to recover anthocyanin from black rice bran. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v. 86, 103372, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103372>.
- LOURENÇO, S. C.; MOLDÃO-MARTINS, M.; ALVES, V. D. Antioxidants of natural plant origins: From sources to food industry applications. *Molecules*, v. 24, n. 22, 4132, 2019. <https://doi.org/10.3390/molecules24224132>.
- MARTÍNEZ, L. *et al.* Plant derived ingredients rich in nitrates or phenolics for protection of pork against protein oxidation. *Food Research International*, v. 129, p. 108789, 2020.
- MARTÍN-SÁNCHEZ, A. M. *et al.* Lipolysis, proteolysis and sensory characteristics of a Spanish fermented dry-cured meat product (salchichón) with oregano essential oil used as surface mold inhibitor. *Meat Science*, v. 89, p. 35-44, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.03.018>.
- MEGAWATI, F. D. S.; SEDIAWAN, W. B.; HISYAM, A. Kinetics of mace (*Myristica arillus*) essential oil extraction using microwave assisted hydrodistillation: Effect of microwave power. *Industrial Crops and Products*, v. 131, p. 315–322, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.01.067>.
- MIĘKUS, N. *et al.* Green chemistry extractions of carotenoids from *Daucus carota* L.—Supercritical carbon dioxide and enzyme-assisted methods. *Molecules*, v. 24, n. 23, 4339, 2019. <https://doi.org/10.3390/molecules24234339>.
- MIKŠOVSKY, P. *et al.* Enzyme-assisted supercritical fluid extraction of flavonoids from apple pomace (*Malus domestica*). *ChemSusChem*, v. 17, n. 7, e202301094, 2024. <https://doi.org/10.1002/cssc.202301094>.
- MINJARES-FUENTES, R. *et al.* Ultrasound-assisted extraction of hemicelluloses from grape pomace using response surface methodology. *Carbohydrate Polymers*, v. 138, p. 180-191, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.11.04>.

- NATOLINO, A. *et al.* Exploring an eco-friendlier strategy for chitosan production and valuable compounds recovery from mushroom by-products with modified subcritical water. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 100, 103923, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2025.103923>.
- OLIVEIRA, T. C. G. *et al.* Reuse of fruits and vegetables biowaste for sustainable development of natural ingredients. **Food Bioscience**, v. 53, 102711, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102711>.
- PAVLIĆ, B. *et al.* Microwave-assisted extraction of wild apple fruit dust: Production of polyphenol-rich extracts from filter tea factory by-products. **Journal of Food Process Engineering**, v. 40, n. 4, e12508, 2017. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12508>.
- PICOT-ALLAIN, C. *et al.* Conventional versus green extraction techniques: A comparative perspective. **Current Opinion in Food Science**, v. 40, p. 144-156, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.02.009>.
- PLAZZOTTA, S.; MANZOCCO, L. Effect of ultrasounds and high-pressure homogenization on the extraction of antioxidant polyphenols from lettuce waste. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 50, p. 11-19, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.10.004>.
- PRONYK, C.; MAZZA, G. Design and scale-up of pressurized fluid extractors for food and bioproducts. **Journal of Food Engineering**, v. 95, n. 2, p. 215-226, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.06.002>.
- PUTNIK, P. *et al.* Novel food processing and extraction technologies of high-added value compounds from plant materials. **Foods**, v. 7, n. 7, 106, 2018. <https://doi.org/10.3390/foods7070106>.
- RADÜNZ, M. *et al.* Antimicrobial and antioxidant activity of unencapsulated and encapsulated clove (*Syzygium aromaticum* L.) essential oil. **Food Chemistry**, v. 276, p. 180-186, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.173>.

- REDONDO, D. *et al.* Pulsed electric fields as a green technology for the extraction of bioactive compounds from thinned peach by-products. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 45, p. 335-343, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.12.004>.
- REZAGHOLIZADE-SHIRVAN, A. *et al.* Bioactive compound encapsulation: Characteristics, applications in food systems, and implications for human health. **Food Chemistry**: X, v. 24, 101953, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101953>.
- ROSELLÓ-SOTO, E. *et al.* Clean recovery of antioxidant compounds from plant foods, by-products and algae assisted by ultrasounds processing: Modeling approaches to optimize processing conditions. **Trends in Food Science & Technology**, v. 42, n. 2, p. 134-149, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.01.002>.
- ROSOLEN, M. D. *et al.* Survival of microencapsulated *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* R7 applied in different food matrices. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 194, n. 5, p. 2135-2150, 2022. <https://doi.org/10.1007/s12010-022-03804-z>.
- SCHOPFER, B.; MITRENGA, S.; BOULAABA, A.; ROOLFS, K.; PLÖTZ, M.; BECKER, A. Red beet and Swiss chard juice extract as natural nitrate sources for the production of alternatively-cured emulsion-type sausages. **Meat Science**, v. 188, p. 108780, 2022.
- SIEMER, C.; TOEPFL, S.; HEINZ, V. Mass transport improvement by PEF-applications in the area of extraction and distillation. *In: Distillation – Advances from Modeling to Applications*. p. 211-232, 2012. <https://doi.org/10.5772/37746>.
- SILVA, P. B. *et al.* Optimization of ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from acerola waste. **Journal of Food Science and Technology**, v. 57, p. 4627-4636, 2020. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04500-8>.
- SILVA, B. D. da *et al.* *Plenctranthus amboinicus* (Lour.) Spreng. essential oil as a natural alternativa for the conservation of beef patties

- stored under refrigeration. **Food Bioscience**, v. 49, 101896, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101896>.
- SOQUETTA, M. B.; TERRA, L. de M.; BASTOS, C. P. Green technologies for the extraction of bioactive compounds in fruits and vegetables. **CyTA – Journal of Food**, v. 16, n. 1, p. 400-412, 2018. <https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1411978>.
- SUCU, C.; TURP, G. Y. The investigation of the use of beetroot powder in Turkish fermented beef sausage (sucuk) as nitrite alternative. **Meat Science**, v. 140, p. 158-166, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.03.012>.
- TABAN, A.; SAHARKHIZ, M. J.; NIAKOUSARI, M. Sweet Bay (*Laurus nobilis* L.) essential oil and its chemical composition, antioxidant activity and leaf micromorphology under different extraction methods. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 9, p. 12–18, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2018.05.001>.
- VAKILIAN, K. *et al.* Extraction and characterization of pectins from ripe grape pomace using both ultrasound-assisted and conventional techniques. **Food Analytical Methods**, p. 1-19, 2024. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4898643/v1>.
- VALADEZ-CARMONA, L. *et al.* Valorization of cacao pod husk through supercritical fluid extraction of phenolic compounds. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 131, p. 99-105, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2017.09.011>.
- VERMA, A. K. *et al.* Guava (*Psidium guajava* L.) powder as an antioxidant dietary fibre in sheep meat nuggets. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 26, n. 6, p. 886-895, 2013. <https://doi.org/10.5713/ajas.2012.12671>.
- VIEIRA, T. dos S. **Efeito da redução de gordura e adição de farinha de casca do Jussara em patês de presunto**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2016. Disponível em: https://sappg.ufes.br/tese_drupal//tese_8651_Disserta%EA7%E3o%20Final%20de%20Mestrado%20-%20Tamires%20

- [dos%20Santos%20Vieira%20%20%20Pdf..pdf](#). Acesso em: 7 fev. 2025.
- WANG, M. *et al.* Effects of pressurized liquid extraction with dimethyl sulfoxide on the recovery of carotenoids and other dietary valuable compounds from the microalgae *Spirulina*, *Chlorella* and *Phaeodactylum tricornutum*. **Food Chemistry**, v. 405, 134885, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134885>.
- WEISS, J. *et al.* Advances in ingredient and processing systems for meat and meat products. **Meat science**, Amsterdam, v. 86, n. 1, p. 196-213, 2010.
- XIN, K-Q. *et al.* Pitaya peel extract and lemon seed essential oil as effective sodium nitrite replacement in cured mutton. **LWT**, v. 160, 113283, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113283>.
- YAGHOUBI, M. *et al.* Application of oleaster leaves (*Elaeagnus angustifolia* L.) essential oil and natural nanoparticle preservatives in frankfurter-type sausages: An assessment of quality attributes and stability during refrigerated storage. **Meat Science**, v. 198, 109097, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2023.109097>.
- ZHANG, L. *et al.* Gallic acid as a copigment enhance anthocyanin stabilities and color characteristics in blueberry juice. **Journal of Food Science and Technology**, v. 57, p. 1405-1414, 2020. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04175-w>.

Extratos naturais utilizados como antimicrobianos e antioxidantes em carnes e produtos cárneos

*Gabriela Permanhane Pereira • Pedro Henrique Alves Martins •
Patrícia Campos Bernardes • Pollyanna Ibrahim Silva*

Na alimentação e evolução humana, a carne é um elemento importante que desempenha um papel fundamental na dieta alimentar. A carne e os produtos à base de carne são indispensáveis para o crescimento e desenvolvimento dos seres humanos nas diferentes fases da vida porque são fontes de proteínas, vitaminas do complexo B e minerais importantes como ferro, zinco, selênio e fósforo (GEIKER *et al.*, 2021).

Assim como a carne, seus derivados são alimentos complexos e altamente perecíveis. Eles contêm proteínas, lipídios saturados e insaturados, carboidratos, vitaminas e pigmentos que podem sofrer oxidação e deterioração microbiana. Portanto, vários fatores, como temperatura de armazenamento, ação enzimática, oxigênio, umidade, luz e microrganismos, afetam a vida útil da carne. Esses fatores têm

um impacto significativo na qualidade dos alimentos, tanto em termos nutricionais quanto sensoriais, causando mudanças na textura, cor, odor, sabor e aroma dos alimentos (DE CARVALHO *et al.*, 2019; RAMOS; GOMIDE, 2013).

A utilização de aditivos alimentares, como antioxidantes e conservantes, tem sido objeto de intensa análise global em anos recentes. As carnes e seus derivados, provenientes de bovinos, suínos ou aves, são altamente perecíveis e suscetíveis à oxidação lipídica e ação microbiana, logo, para manter a qualidade e aumentar a vida útil desses alimentos, frequentemente faz-se necessário o uso de aditivos, como antioxidantes e conservantes (CAMPOLINA *et al.*, 2023). O uso de aditivos sintéticos pode ser prejudicial à saúde, e esse fato é cada vez mais perceptível aos consumidores, que buscam alimentos saudáveis, naturais e com adição de compostos naturais (LIN; WU, 2021; NEGI, 2012).

A necessidade de produzir alimentos saudáveis e seguros, sem a utilização de aditivos químicos, levou ao desenvolvimento de tecnologias para o controle de microrganismos patogênicos e deteriorantes e, conseqüentemente, de padrões de qualidade elevado (NEGI, 2012). Assim, a aplicação de compostos como extratos vegetais que atuam como conservantes e antioxidantes naturais surge como uma estratégia emergente para reduzir ou substituir o uso de aditivos sintéticos tradicionais, caso sejam igualmente eficientes (LIN; WU, 2021).

Em relação à ação antioxidante, têm sido desenvolvidos estudos utilizando extratos naturais de plantas e vegetais objetivando uma atividade antioxidante eficaz em alimentos (REALINI *et al.*, 2015; MARTÍNEZ-ZAMORA *et al.*, 2021). Trata-se de uma boa opção considerando sua baixa toxicidade e seus benefícios à saúde humana (RIBEIRO *et al.*, 2019). Já em relação à multiplicação de microrganismos, alguns extratos vegetais foram capazes de controlar o desenvolvimento de microrganismos deterioradores em carnes, prolongando assim, o prazo de validade e permitindo um aumento geral na qualidade (GONZÁLEZ-MOLINA *et al.*, 2010; YAHAYA *et al.*, 2019). Os

microrganismos contaminantes e deteriorantes da carne são principalmente as bactérias patogênicas *Campylobacter* spp., *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella enterica* e *Escherichia coli*, que são responsáveis por surtos de origem alimentar. Extratos naturais de plantas provaram ser eficazes no controle de microrganismos que causam intoxicação alimentar (FRATIANNI *et al.*, 2010; MAN *et al.*, 2019).

Composição química dos extratos naturais

Estudos sobre uso de extratos naturais oriundos de frutas e vegetais com aplicação em produtos cárneos destacam benefícios diversos. Existem relatos recentes de estudos com casca de cenoura (SHINDIA *et al.*, 2024), café verde (KOKKOSI *et al.*, 2024), açafrão-da-terra (KOKKOSI *et al.*, 2024), semente de uva (YANG *et al.*, 2022) e folha de pitanga (LORENZO *et al.*, 2018). Em extratos de frutas se destacam a presença de compostos fenólicos, flavonoides, carotenoides e vitamina C (SHINDIA *et al.*, 2024; LORENZO *et al.*, 2018). Os compostos fenólicos são metabólitos secundários de plantas, e estão presentes, principalmente, em frutas e vegetais e apresentam propriedades antioxidantes e antimicrobianas (IVANE *et al.*, 2024; SKWAREK; KARWOWSKA, 2023). O conteúdo total de fenólicos de um alimento é dependente de alguns fatores como variedade, grau de maturação, condições de armazenamento e processamento, clima, condições geográficas e método de extração (AKSU *et al.*, 2023). Ademais, os compostos fenólicos, e outros compostos bioativos, presentes em frutas e vegetais também são encontrados nos resíduos provenientes do processamento desses alimentos (como casca, semente, folha e talo) e, muitas vezes, em quantidades superiores às encontradas na própria fruta (SKWAREK; KARWOWSKA, 2023).

Devido às suas propriedades bioativas, os compostos fenólicos (como flavonoides, ácidos fenólicos e taninos) apresentam

potencial de serem utilizados na indústria de alimentos (ALY *et al.*, 2019). Extratos vegetais ricos em fenólicos têm sido utilizados em carnes e produtos cárneos como antioxidantes (KOKKOSI *et al.*, 2024), corantes (YANG *et al.*, 2022) e antimicrobianos (ARCHUN-DIA VELARDE *et al.*, 2025).

Influência do método de extração de compostos bioativos de fontes naturais

As fontes vegetais utilizadas para extração de compostos bioativos, como folhas, frutas, cascas e sementes, em geral, apresentam uma curta vida útil pós-colheita. Portanto, é necessário submetê-las a métodos de processamento de modo a controlar sua perecibilidade e concentrar os compostos de interesse (AKSU *et al.*, 2023). Os compostos também apresentam limitações em sua aplicação devido à sua baixa estabilidade, influenciada por pH, temperatura, oxigênio, luminosidade, ação enzimática e solventes (REZENDE; NOGUEIRA; NARAIN, 2018). As propriedades de extração destes compostos podem ser afetadas pela sua variação estrutural, distribuição não uniforme nas plantas e peso molecular dos fenólicos (SAHU *et al.*, 2023). Ademais, o teor de fenólicos totais dos extratos obtidos depende do método e condição de extração, portanto deve-se definir uma extração apropriada para obter compostos fenólicos de forma eficaz, rápida e eficiente, e sem comprometer sua estabilidade (WANG *et al.*, 2023). A aplicação do tratamento térmico influencia na extração de fenólicos. Em geral, temperatura entre 50 e 70°C aumenta a solubilidade e a taxa de transferência dos fenólicos livres, já temperaturas mais altas podem oxidar muitos compostos fenólicos (SAHU *et al.*, 2023).

Os compostos fenólicos são comumente extraídos utilizando água, acetona, metanol e etanol (SAHU *et al.*, 2023; SMAOUI *et al.*, 2019). Extratos obtidos utilizando o metanol como solvente apresentam, em geral, maior eficácia em comparação a outros solventes.

Entretanto, devido à sua toxicidade em humanos não são aplicados em alimentos (CUI *et al.*, 2021).

Visando a aplicabilidade desses compostos em alimentos, a secagem por convecção de matérias-primas é amplamente utilizada devido aos baixos custos, porém apresenta longo tempo de secagem e degradação significativa dos compostos bioativos. A liofilização é um método dispendioso, mas que preserva grande parte dos compostos bioativos e da estrutura do alimento (AKSU *et al.*, 2023). A secagem por *spray-drying* é uma técnica mais rápida que a liofilização, menos dispendiosa, mas com menor preservação de compostos em comparação à liofilização (TEIXEIRA; ARANHA; VIEIRA, 2022).

Algumas matérias-primas, como extratos de frutas, podem necessitar de algum agente carreador para obtenção de pós. Isso porque, em sua composição, apresentam açúcares de baixo peso molecular e, também, possuem propriedades higroscópicas, resultando em um pó pegajoso. Os agentes carreadores ou agentes encapsulantes, aliados à secagem por spray dryer, auxiliam na obtenção de pós estáveis e com os compostos bioativos preservados. A microencapsulação pode preservar a estabilidade e disponibilidade dos compostos, prevenir interações indesejáveis com a matriz e prevenir processos de degradação (ZHANG *et al.*, 2022). Neste método, são produzidos pós que podem ser aplicados diretamente na matriz cárnea ou produtos derivados.

Mecanismo de ação antimicrobiana de extratos naturais

Os extratos de plantas podem atuar como antimicrobianos utilizando os seguintes mecanismos: (1) moléculas que rompem a membrana, como o grupo hidroxila (OH), causam vazamento de conteúdo celular ou interrupção das enzimas metabólicas ou dissipação da energia celular em sua forma ATP; (2) queda direta do pH do meio de

crescimento devido ao aumento da concentração de prótons, diminuição do pH celular interno pela dissociação de moléculas de ácido e alteração da permeabilidade da membrana celular; (3) a presença de um ácido orgânico no extrato vegetal pode impactar na oxidação do NADH, eliminando assim o fornecimento do agente redutor ao sistema de transporte de elétrons (GYAWALI; IBRAHIM, 2014).

No entanto, o mecanismo molecular exato da atividade antimicrobiana ainda não é bem compreendido porque as plantas e os extratos de plantas contêm uma gama diversificada de moléculas bioativas que são diferentes na sua configuração e estrutura química e que funcionam regularmente em sinergia/antagonismo entre si. Isto significa que pode haver vários possíveis mecanismos de ação molecular antimicrobiana para impactar a célula de várias maneiras (TIWARI *et al.*, 2009).

Sabe-se que os efeitos antimicrobianos dos compostos aromáticos e fenólicos são exercidos na membrana citoplasmática, alterando a sua estrutura e função (HOLLEY; PATEL, 2005). O grupo OH de uma molécula fenólica é central para a atividade antimicrobiana de extratos vegetais. O grupo OH pode interagir com a membrana celular do microrganismo por ligações de hidrogênio (BOUARAB CHIBANE *et al.*, 2019). Isto causa a ruptura da estrutura da membrana, resultando na perda de conteúdo celular, ou a deslocalização de elétrons, induzindo a despolarização que impacta a força motriz do próton, o que diminui o gradiente de prótons através da membrana e o nível do pool de ATP e, em última análise, leva à morte celular. O número de grupos OH no anel fenólico influencia a intensidade e atividade antimicrobiana. Por exemplo, Stojković *et al.* (2013) estudaram o impacto antimicrobiano do ácido cafeico e ácido p-cumárico em sistemas alimentares e descobriram que o ácido cafeico apresentou maior atividade antimicrobiana em comparação com o ácido p-cumárico devido ao grupo OH adicional no anel fenólico do ácido cafeico. A posição dos grupos OH no anel aromático da molécula fenólica também influencia a eficácia antimicrobiana dos conservantes vegetais

(DORMAN; DEANS, 2000). Em relação à atividade antibacteriana dos flavonóides contra cepas de *Staphylococcus aureus* resistentes à meticilina, verificou-se que os grupos OH aumentam sua atividade antimicrobiana (ALCARÁZ *et al.*, 2000). A posição do grupo OH no anel aromático dos polifenóis é, de fato, relevante na deslocalização dos elétrons da membrana citoplasmática que exerce atividade antimicrobiana em bactérias (ULTEE; BENNIK; MOEZELAAR, 2002).

As bactérias patogênicas apresentam diferentes limiares de inibição ou inativação de concentração por fenólicos e a atividade antimicrobiana dos fenólicos depende da concentração. Em baixas concentrações, os fenóis inibem a atividade das enzimas microbianas, enquanto em altas concentrações induzem a desnaturação das proteínas (SMAOUI *et al.*, 2019).

A atividade antimicrobiana dos compostos bioativos também pode depender da capacidade quelante do ferro, que é vital para quase todas as bactérias e é um dos componentes importantes na estrutura da carne. O elemento ferro é necessário para o crescimento de bactérias patogênicas de origem alimentar e deteriorantes, mas não é essencial para o crescimento de bactérias ácido lácticas (TURAN; ŞİMŞEK, 2021).

A erva-de-santa-maria (*Chenopodium ambrosioides* L.) possui um alto teor de flavonoides em sua composição, especialmente kaempferol e quercetina. Um estudo realizado com a aplicação do extrato da erva-de-santa-maria em carne moída, com armazenamento por 9 dias a 4°C, observou queda do pH médio (6,01) da carne e associou esse aspecto ao crescimento suprimido de bactérias (VILLALOBOS-DELGADO *et al.*, 2020). Bactérias como *Micrococcus* e *Staphylococcus* são sensíveis à acidez, e a redução do pH causada pela adição de extratos vegetais com pH ácido pode explicar a diminuição na contagem destas bactérias (TURAN; ŞİMŞEK, 2021). Extratos obtidos da romã (*Punica granatum*) apresentaram atividade antimicrobiana contra *Staphylococcus aureus* e *Pseudomonas aeruginosa* em matriz cárnea (SMAOUI *et al.*, 2019). Em geral, as propriedades benéficas das romãs

também estão relacionadas ao seu teor de fenólicos, principalmente flavonoides e taninos (como ácido elágico, ácido gálico, punicalinas) (SKWAREK; KARWOWSKA, 2023). Flavonoides, como quercetina e kaempferol, inibem bactérias Gram-positivas, como *Staphylococcus aureus*, *Micrococcus luteus* e *Listeria monocytogenes*. Entretanto, sua capacidade antimicrobiana pode variar dependendo da fonte originária do composto (Cui *et al.*, 2019).

O carvacrol é capaz de desintegrar a membrana externa de bactérias Gram-negativas, liberando lipopolissacarídeos e aumentando a permeabilidade da membrana citoplasmática ao ATP. A atividade antimicrobiana do carvacrol contra bactérias Gram-positivas é devida à sua interação com as membranas das bactérias alterando a permeabilidade para cátions como H^+ e K^+ (TONGNUANCHAN; BENJAKUL, 2014). A diferença na atividade antimicrobiana entre o timol e o carvacrol, quando testado contra bactérias, foi atribuída ao grupo OH localizado na posição meta no timol, em comparação com a posição orto no carvacrol (GYAWALI; IBRAHIM, 2014).

Mecanismo de ação antioxidante de extratos naturais

A oxidação lipídica é uma série de reações químicas iniciada e propagada através de uma reação de radicais livres em cadeia que, por sua vez, pode ocorrer devido à diversos fatores, como, por exemplo, exposição ao oxigênio e luz, ruptura de células e presença de compostos reativos (OSWELL *et al.*, 2018). Para retardar essa reação, o uso de antioxidantes é comumente utilizado para prolongar a vida útil dos alimentos (RIBEIRO *et al.*, 2019).

Os compostos fenólicos presentes nos extratos vegetais apresentam elevada capacidade de absorver os radicais ou forte capacidade de doação de átomos de hidrogênio, minimizando a oxidação. Já o mecanismo de ação pode variar, alguns fenóis controlam a propagação da

reação enquanto outros eliminam radicais livres e quelam íons metálicos como, por exemplo, os ácidos fenólicos (HADIDI *et al.*, 2022).

Além de atividade antimicrobiana, os compostos fenólicos atuam também como antioxidantes primários. Um estudo feito com extrato de casca de romã, rico em fenóis e flavonoides, apresentou atividade antioxidante significativa em carne de búfalo, auxiliando na preservação da carne e no aproveitamento integral da fruta (GHIMIRE *et al.*, 2022). Outro estudo que objetivou avaliar o efeito de antioxidantes naturais em produto cárneo observou aumento de cor e coesividade e diminuição dos valores de TBARS, análise utilizada para avaliar a oxidação lipídica. Foram utilizadas as fontes naturais acerola, alcaçuz e alecrim, ricas em fenólicos (DE PAIVA *et al.*, 2021).

Em relação às embalagens ativas, um estudo observou que a adição de filme incorporado com extrato do bagaço de acerola apresentou redução da oxidação lipídica e proteica em hambúrgueres bovinos, sendo uma opção viável com ação antioxidante (DA NÓBREGA SANTOS *et al.*, 2022).

A incorporação de extrato de folha de bétel (*Piper L.*) em salsichas de carne de búfalo resultou em reduções na contagem microbiana, nos valores de TBARS e no teor de carbonila, indicando que a aplicação deste extrato nos produtos à base de carne pode controlar a oxidação lipídica e proteica, mantendo suas características sensoriais intactas (MANZOOR *et al.*, 2023). Estas melhorias promissoras foram atribuídas aos compostos fenólicos presentes no extrato.

Inovações no uso de antimicrobianos e antioxidantes naturais em alimentos

A crescente demanda por produtos “Clean Label”, ou seja, produtos com mais ingredientes naturais e com menos ingredientes sintéticos, tem levado ao desenvolvimento de novas abordagens no processamento e na conservação de carnes e produtos cárneos. Neste

contexto, uma das alternativas para atender a essa demanda é o uso de novas tecnologias de embalagem, como as embalagens ativas, que apresentam uma opção alternativa à utilização de embalagens plásticas tradicionais. Desta forma, os filmes e revestimentos comestíveis podem ser soluções inovadoras e mais ecológicas para a indústria de alimentos (YAGHOUBI *et al.*, 2025).

Com as embalagens bioativas, é possível oferecer transporte de compostos bioativos de interesse que aumentam a estabilidade, segurança e vida útil de alimentos, como carnes e produtos cárneos. Esses compostos podem ser provenientes de fontes naturais, como óleos essenciais ou até mesmo bactérias probióticas, que possuem propriedades funcionais. Nos últimos anos, o interesse pelo uso de probióticos diretamente em produtos alimentícios, incluindo carnes, tem se intensificado, demonstrando a eficácia desses elementos na conservação e melhoria das características dos alimentos (YAGHOUBI *et al.*, 2025).

Entretanto, compostos bioativos presentes em extratos vegetais e óleos essenciais podem ser degradados sob condições comuns de processamento e armazenamento, perdendo sua capacidade antioxidante. Por isso, pesquisas que abordam o uso de encapsulamento têm ganhado notoriedade, pois esse método, além de proteger os compostos bioativos, pode permitir uma liberação controlada e direcionada. O encapsulamento de compostos bioativos vegetais tem mostrado resultados promissores na preservação da carne, garantindo sua eficácia antioxidante e antimicrobiana durante o armazenamento (SMAOUI *et al.*, 2021).

Ademais, outra alternativa viável e eficiente aos aditivos sintéticos têm sido os óleos essenciais, uma outra inovação em carnes e produtos cárneos (ZHANG; PIAO, 2023).

A utilização de antioxidantes e antimicrobianos naturais provenientes de resíduos da agroindústria também tem demonstrado resultados promissores. Resíduos do processamento de vinhos, como sementes e cascas de uvas, demonstraram reduzir a oxidação

lipídica em carne de frango crua e cozida durante o armazenamento, quando comparados aos antioxidantes sintéticos, evidenciando o potencial desses ingredientes naturais na conservação de alimentos (SELANI *et al.*, 2011).

Limitações no uso de antimicrobianos e antioxidantes naturais em alimentos

Como apresentado anteriormente, têm sido reconhecido as propriedades antimicrobianas dos polifenóis vegetais. No entanto, a maioria desses estudos foi realizada *in vitro*, ou seja, em laboratório. É importante ressaltar que a aplicação desses polifenóis em sistemas de carne, ou seja, *in situ*, pode apresentar resultados diferentes. Nas aplicações *in situ*, a quantidade necessária desses conservantes de plantas ricos em fenólicos para obter um efeito desejado geralmente é tão alta que os níveis não são aceitáveis sensorialmente. Por outro lado, nas aplicações *in vitro*, quantidades muito menores desses extratos de plantas são necessárias para exibir as propriedades antimicrobianas e antioxidantes (MARTÍNEZ-GRACIÁ *et al.*, 2015).

Acredita-se que essa diferença observada entre as aplicações *in vitro* e *in situ* de extratos vegetais ricos em polifenóis pode ser explicada pela presença de outros componentes nos sistemas de carne, como gordura, proteínas, carboidratos e sal, que podem afetar sua bioatividade. Existem dois aspectos cruciais a serem considerados para a viabilidade do uso de antioxidantes e conservantes naturais em sistemas alimentares (DEVLEIGH; VERMEIREN; DEBEVERE, 2004). O primeiro é a mudança nos atributos sensoriais dos alimentos, como cor, aroma e textura, quando se é adicionado. O segundo é a interação do “aditivo” natural com outros ingredientes alimentares no sistema. É importante mencionar que carnes e produtos cárneos geralmente são rejeitados pelos consumidores quando se aplica um

óleo essencial vegetal, por conferir um sabor forte e volátil (LOURENÇO *et al.*, 2019).

A concentração de compostos bioativos em ervas e especiarias pode variar dependendo das técnicas de extração (ADIAMO *et al.*, 2020). Estudos mostram que diferentes técnicas de extração podem afetar a quantidade e qualidade dos compostos bioativos presentes nas plantas. Além disso, a parte da planta utilizada (semente, folha, casca da raiz e casca do caule) também pode influenciar a composição dos compostos bioativos (BOUARAB CHIBANE *et al.*, 2019). Outro aspecto importante é a falta de informações sobre as concentrações recomendadas dos extratos e seus componentes ativos a serem adicionados à carne. Isso torna desafiador avaliar a eficácia desses conservantes naturais em condições específicas (ZHANG; LIN; YE, 2018).

Questões legislativas também podem afetar o uso de conservantes naturais em carne e produtos à base de carne. Diferentes órgãos reguladores têm regulamentos discrepantes em relação aos conservantes naturais, o que pode dificultar sua utilização em produtos cárneos.

Considerações finais

A aplicação de extratos naturais em produtos cárneos é uma área de pesquisa, desenvolvimento e inovação em crescimento, prometendo avanços na qualidade e segurança dos alimentos. Considerando a crescente preocupação dos consumidores em consumir alimentos mais saudáveis, acrescidos de ingredientes naturais e com menos aditivos sintéticos, a utilização de extratos naturais como antimicrobianos e antioxidantes em produtos cárneos é altamente promissora. No entanto, a compreensão detalhada das propriedades, composição química e mecanismos de ação desses extratos é crucial para garantir sua eficácia e segurança. Para a aplicação em alimentos, é essencial assegurar a segurança do extrato utilizado, sua eficiência antioxidante e antimicrobiana específica.

Desse modo, o desenvolvimento de pesquisas que visem entender os mecanismos de ação dos extratos e seus efeitos antioxidantes, antimicrobianos e sensoriais na matriz cárnea é fundamental. Essas investigações contribuirão para a futura implementação de extratos naturais em produtos cárneos, oferecendo benefícios tanto para a saúde dos consumidores quanto para a indústria alimentícia.

Referências

- ADIAMO, O. Q. *et al.* Acacia seed proteins: Low or high quality? A comprehensive review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 19, n. 1, p. 21–43, 1 jan. 2020.
- AKSU, M. İ. *et al.* Utilization of spray-dried raspberry powder as a natural additive to improve oxidative stability, microbial quality and overcome the perception of discoloration in vacuum-packed ground beef during chilled storage. **Meat Science**, v. 197, p. 109072, 1 mar. 2023.
- ALCARÁZ, L. E. *et al.* Antibacterial activity of flavonoids against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* strains. **Journal of Theoretical Biology**, v. 205, n. 2, p. 231–240, 21 jul. 2000.
- ALY, A. A. A.; ALI, H. G. M.; ELIWA, N. E. R. Phytochemical screening, anthocyanins and antimicrobial activities in some berries fruits. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 13, n. 2, p. 911–920, 15 jun. 2019.
- ARCHUNDIA VELARDE, E. D. *et al.* Development and characterization of active gelatin-chitosan packaging incorporated with guava leaf extract for extending meat shelf life. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 19, p. 101555, 1 mar. 2025.
- BOUARAB CHIBANE, L. *et al.* Plant antimicrobial polyphenols as potential natural food preservatives. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 15 mar. 2019.

- CAMPOLINA, G. A. *et al.* Essential oil and plant extracts as preservatives and natural antioxidants applied to meat and meat products: A review. **Food Technology and Biotechnology**, 1 abr. 2023.
- CUI, H. *et al.* Flavonoids from *Morus alba* L. leaves: Optimization of extraction by response surface methodology and comprehensive evaluation of their antioxidant, antimicrobial, and inhibition of alpha-amylase activities through analytical hierarchy process. **Molecules**, v. 24, n. 13, 2019.
- CUI, H. *et al.* Effect of ethanolic extract from *Morus alba* L. leaves on the quality and sensory aspects of chilled pork under retail conditions. **Meat Science**, v. 172, p. 108368, 1 fev. 2021.
- DA NÓBREGA SANTOS, E. *et al.* Edible active film based on gelatin and *Malpighia emarginata* waste extract to inhibit lipid and protein oxidation in beef patties. **LWT**, v. 154, p. 112837, 15 jan. 2022.
- DE CARVALHO, F. A. L. *et al.* Effect of guarana (*Paullinia cupana*) seed and pitanga (*Eugenia uniflora* L.) leaf extracts on lamb burgers with fat replacement by chia oil emulsion during shelf life storage at 2°C. **Food Research International**, v. 125, p. 108554, 1 nov. 2019.
- DE PAIVA, G. B. *et al.* Antioxidant effect of acerola fruit powder, rosemary and licorice extract in caiman meat nuggets containing mechanically separated caiman meat. **Meat Science**, v. 173, 1 mar. 2021.
- DEVLIEGHERE, F.; VERMEIREN, L.; DEBEVERE, J. New preservation technologies: Possibilities and limitations. **International Dairy Journal**, v. 14, n. 4, p. 273–285, 1 abr. 2004.
- DORMAN, H. J. D.; DEANS, S. G. Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. **Journal of Applied Microbiology**, [s. l.], [s. n.], [s. d.].

- FRATIANNI, F. *et al.* Preservation of chicken breast meat treated with thyme and balm essential oils. **Journal of Food Science**, v. 75, n. 8, out. 2010.
- GEIKER, N. R. W. *et al.* Meat and human health: current knowledge and research gaps. **Foods**, v. 10, n. 7, p. 1556, 5 jul. 2021.
- GHIMIRE, A.; PAUDEL, N.; POUDEL, R. Effect of pomegranate peel extract on the storage stability of ground buffalo (*Bubalus bubalis*) meat. **LWT**, v. 154, p. 112690, 15 jan. 2022.
- GONZÁLEZ-MOLINA, E. *et al.* Natural bioactive compounds of *Citrus limon* for food and health. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, v. 51, n. 2, p. 327–345, 20 jan. 2010.
- GYAWALI, R.; IBRAHIM, S. A. Natural products as antimicrobial agents. **Food Control**, v. 46, p. 412–429, 1 dez. 2014.
- HADIDI, M. *et al.* Plant by-product antioxidants: Control of protein-lipid oxidation in meat and meat products. **LWT**, v. 169, p. 114003, 1 nov. 2022.
- HOLLEY, R. A.; PATEL, D. Improvement in shelf-life and safety of perishable foods by plant essential oils and smoke antimicrobials. **Food Microbiology**, v. 22, n. 4, p. 273–292, 1 ago. 2005.
- IVANE, N. M. A. *et al.* RETRACTED: Characterization, antioxidant activity and potential application fractionalized Szechuan pepper on fresh beef meat as natural preservative. **Meat Science**, v. 208, p. 109383, 1 fev. 2024.
- KOKKOSI, E. K. *et al.* Shelf life extension of Gyros' pork meat using plant extracts with antioxidant and antimicrobial activities. **Food Bioscience**, v. 62, p. 105542, 1 dez. 2024.
- LIN, Y.; WU, S. Vegetable soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) leaf extracts: Functional components and antioxidant and anti-inflammatory activities. **Journal of Food Science**, v. 86, n. 6, p. 2468–2480, 1 jun. 2021.
- LORENZO, J. M. *et al.* Influence of pitanga leaf extracts on lipid and protein oxidation of pork burger during shelf-life. **Food Research International**, v. 114, p. 47–54, 1 dez. 2018.

- LOURENÇO, S. C.; MOLDÃO-MARTINS, M.; ALVES, V. D. Antioxidants of natural plant origins: From sources to food industry applications. **Molecules**, 2019.
- MAN, A. *et al.* Antimicrobial activity of six essential oils against a group of human pathogens: A comparative study. **Pathogens**, v. 8, n. 1, 2019.
- MANZOOR, A. *et al.* Incorporation of betel leaf extract provides oxidative stability and improves phytochemical, textural, sensory and antimicrobial activities of buffalo meat sausages. **Meat Science**, v. 200, p. 109157, 1 jun. 2023.
- MARTÍNEZ-GRACIÁ, C. *et al.* Use of herbs and spices for food preservation: Advantages and limitations. **Current Opinion in Food Science**, v. 6, p. 38–43, 1 dez. 2015.
- MARTÍNEZ-ZAMORA, L. *et al.* Substitution of synthetic nitrates and antioxidants by spices, fruits and vegetables in Clean label Spanish chorizo. **Food Research International**, v. 139, p. 109835, jan. 2021.
- NEGI, P. S. Plant extracts for the control of bacterial growth: Efficacy, stability and safety issues for food application. **International Journal of Food Microbiology**, v. 156, n. 1, p. 7–17, 1 maio 2012.
- OSWELL, N. J.; THIPPAREDDI, H.; PEGG, R. B. Practical use of natural antioxidants in meat products in the U.S.: A review. **Meat Science**, v. 145, p. 469–479, 1 nov. 2018.
- RAMOS, E.; GOMIDE, L. **Ciência e qualidade da carne**. [s. l.: s. n.], [s. d.].
- REALINI, C. E. *et al.* Effects of acerola fruit extract on sensory and shelf-life of salted beef patties from grinds differing in fatty acid composition. **Meat Science**, v. 99, p. 18–24, jan. 2015.
- REZENDE, Y. R. R. S.; NOGUEIRA, J. P.; NARAIN, N. Microencapsulation of extracts of bioactive compounds obtained from acerola (*Malpighia emarginata* DC) pulp and residue by spray

- and freeze drying: Chemical, morphological and chemometric characterization. **Food Chemistry**, v. 254, p. 281–291, jul. 2018.
- RIBEIRO, J. S. *et al.* Natural antioxidants used in meat products: A brief review. **Meat Science**, v. 148, p. 181–188, 1 fev. 2019.
- SAHU, R. *et al.* The bioavailability, health advantages, extraction method, and distribution of free and bound phenolics of rice, wheat, and maize: A review. **Food Chemistry Advances**, v. 3, p. 100484, 1 dez. 2023.
- SELANI, M. M. *et al.* Wine industry residues extracts as natural antioxidants in raw and cooked chicken meat during frozen storage. **Meat Science**, v. 88, n. 3, p. 397–403, jul. 2011.
- SHINDIA, A. *et al.* Antibacterial activity of carrot peel HCl-ethanol extracts and its potential application in meat preservation. **LWT**, v. 207, p. 116638, 1 set. 2024.
- SKWAREK, P.; KARWOWSKA, M. Fruit and vegetable processing by-products as functional meat product ingredients: A chance to improve the nutritional value. **LWT**, v. 189, p. 115442, 1 nov. 2023.
- SMAOUI, S. *et al.* Pomegranate peel as phenolic compounds source: Advanced analytical strategies and practical use in meat products. **Meat Science**, v. 158, p. 107914, 1 dez. 2019.
- SMAOUI, S. *et al.* Recent advancements in encapsulation of bioactive compounds as a promising technique for meat preservation. **Meat Science**, v. 181, p. 108585, 1 nov. 2021.
- STOJKOVIĆ, D. *et al.* *In situ* antioxidant and antimicrobial activities of naturally occurring caffeic acid, p-coumaric acid and rutin, using food systems. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, n. 13, p. 3205–3208, out. 2013.
- TEIXEIRA, B. F.; ARANHA, J. B.; VIEIRA, T. M. F. de S. Replacing synthetic antioxidants in food emulsions with microparticles from green acerola (*Malpighia emarginata*). **Future Foods**, v. 5, 1 jun. 2022.

- TIWARI, B. K. *et al.* Application of natural antimicrobials for food preservation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 22 jul. 2009.
- TONGNUANCHAN, P.; BENJAKUL, S. Essential oils: Extraction, bioactivities, and their uses for food preservation. **Journal of Food Science**, v. 79, n. 7, 2014.
- TURAN, E.; ŞİMŞEK, A. Effects of lyophilized black mulberry water extract on lipid oxidation, metmyoglobin formation, color stability, microbial quality and sensory properties of beef patties stored under aerobic and vacuum packaging conditions. **Meat Science**, v. 178, p. 108522, ago. 2021.
- ULTEE, A.; BENNIK, M. H. J.; MOEZELAAR, R. The phenolic hydroxyl group of carvacrol is essential for action against the food-borne pathogen *Bacillus cereus*. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 68, n. 4, p. 1561–1568, 2002.
- VILLALOBOS-DELGADO, L. H. *et al.* Oxidative stability in raw, cooked, and frozen ground beef using *Epazote* (*Chenopodium ambrosioides* L.). **Meat Science**, v. 168, 1 out. 2020.
- WANG, X. *et al.* The structural and functional properties changing of peanut protein isolate (PPI) via different treatments and their application in pork meatballs production. **LWT**, v. 184, p. 115046, jul. 2023.
- YAGHOUBI, M. *et al.* Probiotic-incorporated active packaging solutions for meat and meat products: A review of benefits and recent applications. **Trends in Food Science & Technology**, v. 156, p. 104848, 1 fev. 2025.
- YAHAYA, W. A. W. *et al.* Antioxidant activities and total phenolic content of Malaysian herbs as components of active packaging film in beef patties. **Antioxidants**, v. 8, n. 7, 1 jul. 2019.
- YANG, X. Y. *et al.* Effects of grape seed extract on meat color and premature browning of meat patties in high-oxygen packaging. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 21, n. 8, p. 2445–2455, 1 ago. 2022.

- ZHANG, D. *et al.* Recent trends in the micro-encapsulation of plant-derived compounds and their specific application in meat as antioxidants and antimicrobials. **Meat Science**, 1 set. 2022.
- ZHANG, L.; PIAO, X. Use of aromatic plant-derived essential oils in meat and derived products: Phytochemical compositions, functional properties, and encapsulation. **Food Bioscience**, v. 53, p. 102520, 1 jun. 2023.
- ZHANG, Q. W.; LIN, L. G.; YE, W. C. Techniques for extraction and isolation of natural products: A comprehensive review. **Chinese Medicine**, 17 abr. 2018.

Produção do Kefir de água e do Tepache: preparo, fermentação e seus benefícios

Gabriele Estofeles Louzada • Geanderson Leonardo de Lima Pereira •

Ingrid Carvalho Moreira • Joel Camilo Souza Carneiro •

Luciano José Quintão Teixeira

Os alimentos e bebidas fermentadas provavelmente surgiram de forma acidental há aproximadamente 10 mil anos, quando era comum a contaminação microbiana de matérias-primas frescas, e a deterioração dos alimentos era considerada algo natural e habitual. Certamente, alguns desses episódios de contaminação deram origem a produtos com sabor agradável e de longa durabilidade (TAMANG *et al.*, 2020).

Ao longo do tempo, os observadores identificaram as circunstâncias que conduziram a tais resultados favoráveis e, após muitos séculos, os seres humanos aprenderam a gerir o processo de fermentação para alcançar consistência, segurança e qualidade (OVIEDO *et al.*, 2024).

No início, a fabricação de alimentos e bebidas fermentadas era em proporções bastantes restritas, mas com o passar do tempo a produção começou a ser feita em larga escala. Na falta de conhecimento científico e microbiológico, artesãos especializados desempenharam um papel crucial no progresso de desenvolvimento e difusão de alimentos fermentados (TAMANG *et al.*, 2020).

O kefir de água e o tepache são bebidas fermentadas tradicionais com potenciais benefícios à saúde. Ambas são produzidas através da fermentação de água e açúcar, no qual possuem em sua composição, predominantemente, bactérias lácticas e acéticas que promovem seu possível (mas ainda não comprovado) efeito probiótico (OVIEDO *et al.*, 2024).

Na produção do tepache, utiliza-se principalmente a casca de abacaxi, que atua como fonte de açúcares naturais e microrganismos essenciais para o processo fermentativo. Além disso, o açúcar mascavo é adicionado para fornecer energia necessária à fermentação, potencializando o desenvolvimento dos microrganismos. Esses ingredientes são combinados com água potável, criando um ambiente ideal para a fermentação. Como resultado, obtém-se uma bebida levemente gasificada, de sabor complexo e características únicas (AGUILAR, 2022).

Desse modo, o objetivo deste capítulo é explorar tanto a origem do kefir de água quanto do tepache. Apresentar os principais conceitos envolvidos, abordar a composição microbiana e suas propriedades nutricionais com efeitos na saúde humana.

Origem

Trata-se de uma bebida com origens nas práticas indígenas que precede a colonização espanhola. Os indígenas fermentavam milho, frutas e mel, criando bebidas refrescantes e benéficas à saúde, assim como o tepache. Com o tempo, essa receita se popularizou, tornando-se uma das bebidas mais tradicionais do México (RAMÍREZ *et al.*, 2020).

A composição do tepache é formada principalmente por casca de abacaxi, açúcar mascavo e água. O processo de fermentação é simples e ocorre de forma espontânea, utilizando microrganismos naturalmente presentes na casca do abacaxi. Essa fermentação confere à bebida um sabor e aroma levemente ácidos e adocicados, características que a tornam bastante refrescante e apreciada (ARMENDÁRIZ; CARDOSO, 2020).

O abacaxi foi adotado e popularizado pela comunidade mexicana devido ao seu sabor e aroma excepcionais, aos seus benefícios para a saúde e à rapidez surpreendente do processo de fermentação. Esses fatores impulsionaram o cultivo doméstico e a ampla disseminação do tepache de abacaxi no México (LIGENZA *et al.*, 2021).

O kefir de água é uma bebida fermentada efervescente e levemente ácida, geralmente preparada a partir da fermentação de uma solução açucarada, à qual podem ser adicionadas frutas frescas ou secas, e, por vezes, uma fatia de limão. Este processo utiliza os chamados “grãos” de kefir de água, que se diferem dos grãos usados no kefir de leite (LYNCH *et al.*, 2021).

Os grãos de kefir de água são gelatinosos e translúcidos compostos por uma mistura simbiótica de bactérias e leveduras, embebidos em uma matriz de polissacarídeos. Ao longo do tempo, esses grãos, assim como a bebida fermentada resultante, receberam várias denominações, tais como “kefir de açúcar”, “tibicos”, “tibi” (ou grãos de tibi), “cogumelo tibetano”, “kefir d’agua” (CAI *et al.*, 2020).

A origem exata dos tibicos é desconhecida, contudo em 1887 foram identificados por Balfour como “planta de cerveja de gengibre”. Eles podem ter sido levados para a Grã-Bretanha por volta de 1855 por soldados retornando da Guerra da Crimeia (LYNCH *et al.*, 2021).

Preparo das bebidas fermentadas

Kefir de água

Os grãos de Kefir de água normalmente são armazenados sob congelamento a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para o uso, os grãos são descongelados por algumas horas, lavados com água filtrada e coados, iniciando assim o processo de ativação que levará de 3 a 4 dias em fermentação aberta a $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Depois que os grãos forem ativados, o processo é efetuado conforme o seguinte: inicialmente, 5% de grãos de kefir de água ativos são submetidos à fermentação em água filtrada com 6,5% de açúcar mascavo durante um período de 24 horas a uma temperatura de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, utilizando a fermentação aberta F1 (aerobiose) (PENDON *et al.*, 2022).

Após esse período, o kefir é filtrado em peneira estéril e os grãos armazenados sob congelamento para posterior uso. A água kefirada pode ser consumida *in natura* ou ser saborizada com frutas, sucos ou extratos vegetais seguindo para uma segunda fermentação por 24 h a 30°C , no entanto em garrafa fechada F₂ (anaerobiose). Esta segunda fermentação promove a carbonização natural da bebida. Logo, com o fim da segunda fermentação a bebida deve ser armazenada sob refrigeração a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (GUZEL-SEYDIM; GÖKIRMAKLI; GREENE, 2021), conforme ilustrado na Figura 1.

2024). Assim, é essencial otimizar a formulação para equilibrar sabor e formação de CO_2 .

Quanto ao teor alcoólico, para ser classificado como bebida não alcoólica, o kefir de água ou qualquer outra bebida deve conter menos de 0,5 °GL. A equipe da Ufes encontrou esses valores logo após a primeira fermentação, ou seja, na água kefirada (kefir sem sabor). No entanto, a versão saborizada apresentou teores entre 1 e 2 °GL, indicando a necessidade de mais estudos para mitigar esse efeito (CHAVES *et al.*, 2024).

Figura 2 – Kefir de água saborizado com diferentes proporções de suco de uva natural



Fonte: os autores (2025).

Experimentos realizados por pesquisadores da Ufes e coordenados pelo prof. Dr. Luciano Teixeira, variaram a temperatura da primeira fermentação entre 20 °C e 30 °C e a concentração de sólidos solúveis entre 3 °BRIX e 10 °BRIX. As análises microbiológicas da água kefirada revelaram uma média de $4,25 \times 10^7$ UFC/mL para bolores e leveduras e $5,02 \times 10^6$ UFC/mL para bactérias

láticas (BAL). A pressão média registrada após a segunda fermentação fechada foi de 350 kPa (aproximadamente 3,45 atm), com acidez de 4,57 mEq/100mL e pH final abaixo de 3,5 (TEIXEIRA *et al.*, 2024).

O dióxido de carbono (CO₂) desempenha um papel fundamental nas bebidas carbonatadas, influenciando a qualidade do produto, a vida de prateleira e principalmente a experiência sensorial dos consumidores. A pressão de CO₂ em refrigerantes e cervejas comerciais, por exemplo, é influenciada por fatores como temperatura, teor alcoólico e concentração de açúcares, sendo que em cervejas os valores normalmente ficam entre 1,5 e 3,0 atm. A solubilidade do CO₂ é um aspecto crítico para a indústria de bebidas gaseificadas, exigindo modelos especializados para prever seu comportamento com precisão (LIGER-BELAIR, 2025). No caso do kefir de água, os valores de pressão encontrados após a segunda fermentação fechada (aproximadamente 3,45 atm) são superiores aos observados em outras bebidas carbonatadas, como cervejas e refrigerantes, o que pode representar desafios tecnológicos devido a supercarbonatação.

Tepache

O processo de elaboração do tepache, uma bebida fermentada artesanal, envolve o uso de cascas de abacaxi, açúcar mascavo e água filtrada. A produção começa com o aquecimento da água até 90°C, seguida pela adição e dissolução do açúcar mascavo. Após resfriamento, a casca de abacaxi é incorporada, e a mistura é mantida à temperatura ambiente (cerca de 25°C) por 1 a 4 dias, ocorrendo sua fermentação espontânea (natural). Após o período de fermentação, o líquido é filtrado e envasado. O produto final é armazenado sob refrigeração, em torno de 4°C, para preservar sua qualidade até o consumo, conforme descrito na Figura 3 (CORONA-GONZÁLEZ *et al.*, 2013; AGUILAR, 2022).

Figura 3 – Fluxograma de produção do tepache



Fonte: os autores (2025).

Estudos recentes têm explorado diversos aspectos relacionados à preparação e composição do tepache, destacando variações nas proporções dos ingredientes utilizados. Essas variações incluem diferentes quantidades de casca de abacaxi, açúcar mascavo, temperatura e água, que podem influenciar diretamente o sabor, o aroma e as características fermentativas da bebida. Essas adaptações permitem ajustar o produto final às preferências regionais e ao perfil sensorial desejado, tornando o tepache uma bebida versátil e culturalmente significativa.

González *et al.* (2013) realizaram a padronização do tepache utilizando a metodologia de superfície de resposta, com o objetivo de

avaliar as condições de fermentação. Os fatores investigados incluíram a quantidade de açúcar, o pH inicial, o tempo de fermentação e a temperatura, todos relacionados à aceitabilidade sensorial do produto. Os resultados mostraram que a formulação de tepache com 13% de açúcar, pH inicial de 4 e fermentação de 54 horas a 22°C foi a mais aceita.

Louzada *et al.* (2024) padronizaram uma formulação para o preparo do tepache, utilizando procedimentos otimizados para garantir a qualidade da bebida fermentada. O processo consistiu em dissolver 60 g de açúcar mascavo em 1 L de água aquecida, que em seguida foi resfriada até a solução atingir a temperatura ambiente antes de adicionar 300 g de cascas de abacaxi cortadas. O processo de fermentação foi conduzido a 30°C por 72 horas, resultando em uma bebida fermentada com características únicas. O tepache foi caracterizado quanto ao pH, acidez titulável, sólidos solúveis, capacidade antioxidante e compostos fenólicos. O pH final obtido foi 2,95 caracterizando como um produto de alta acidez. Os sólidos solúveis reduziram para $5,77 \pm 0,16$ °Brix devido ao consumo de açúcares pelos microrganismos presente na casca do abacaxi. A capacidade antioxidante (FRAP) atingiu $1919,91 \pm 202,39$ mg de sulfato ferroso/mL, e os compostos fenólicos totalizaram $1,20 \pm 0,03$ mg de ácido gálico equivalente/mL.

Um período de fermentação excessivamente longo pode resultar no desenvolvimento de sabores indesejáveis, como acidez excessiva e notas de vinagre, devido à conversão do álcool em ácido acético por bactérias acéticas. Além disso, outros compostos voláteis, como aldeídos e ácidos orgânicos, podem se acumular, intensificando aromas desagradáveis e tornando a bebida menos palatável. Essas alterações são comuns em fermentações descontroladas, em que o tempo e as condições ambientais não são rigorosamente monitorados, podendo comprometer a qualidade sensorial do produto final (GONZÁLEZ *et al.*, 2013).

Aspectos microbiológicos

Os microrganismos isolados de grãos de kefir de água e da bebida pronta apresentam uma comunidade diversa incluindo bífido bactérias, bactérias lácticas (BAL), bactérias acéticas e leveduras que possuem diversas propriedades, tais como: a sua não patogenicidade, resistência às condições do trato gastrointestinal, adesão à mucosa intestinal, potencial de colonização e capacidade de exclusão de patógenos (MORETTI *et al.*, 2022).

As bifidobactérias são organismos anaeróbicos obrigatórios, conhecidos por produzir mais acetato do que lactato. Assim, as atividades metabólicas podem ser aprimoradas devido à elevada concentração de acetato gerada durante a fermentação do kefir de água (EFFENDI *et al.*, 2022; RODRÍGUEZ *et al.*, 2023).

Além do mais, as Bifidobactérias são contabilizadas entre os microrganismos probióticos mais benéficos para o fortalecimento do sistema imunológico. As características benéficas dos microrganismos potencialmente probióticos presentes no kefir de água estão intimamente relacionadas à dose consumida (MORETTI *et al.*, 2022).

As BAL são microrganismos Gram-positivos, não formadores de esporos, que metabolizam carboidratos produzindo ácido láctico. Além disso, produzem bacteriocinas, substâncias antimicrobianas que inibem patógenos e microrganismos deteriorantes (RATTANA-CHAIKUNSOPON; PHUMKHACHORN, 2010). Seu consumo está relacionado a diversos benefícios à saúde, como melhora da digestão da lactose, fortalecimento do sistema imunológico e possível prevenção de doenças intestinais (MASOOD *et al.*, 2010).

As bactérias do ácido acético (BAA), pertencentes à família Acetobacteraceae, são microrganismos Gram-negativos, estritamente aeróbios, que oxidam parcialmente álcoois e carboidratos, gerando ácidos orgânicos e outros compostos (MAMLOUK; GULLO, 2013).

As leveduras, especialmente da ordem Saccharomycetales, são fungos unicelulares essenciais em processos biotecnológicos e

industriais. Elas apresentam atividade antimicrobiana contra patógenos e fungos indesejáveis, competindo por nutrientes e produzindo metabólitos como álcool e ácidos orgânicos

Algumas bactérias e leveduras que podem ser encontradas no kefir de água estão listadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Espécies de bactérias e leveduras presentes no kefir de água

Microrganismos	
Bactérias	Leveduras
<i>Acetobacter fabarium</i>	<i>Sacharomyces bayanus</i>
<i>Acetobacter orientalis</i>	<i>Sacharomyces cerevisiae</i>
<i>Acetobacter lovaniensis</i>	<i>Sacharomyces florentinus</i>
<i>Acetobacter indonesiensis</i>	<i>Sacharomyces pretoriensis</i>
<i>Acetobacter tropicalis</i>	<i>Zygosaccharomyces florentinus</i>
<i>Bifidobacterium psychrophilum</i>	<i>Zygosaccharomyces fermentati</i>
<i>Bifidobacterium aquikefiri</i>	<i>Zygorulaspora florentina</i>
<i>Lactobacillus brevis</i>	<i>Hanseniaspora valbyensis</i>
<i>Lactobacillus hilgardii</i>	<i>Hanseniaspora vineae</i>
<i>Lactobacillus casei ssp. casei</i>	<i>Hanseniaspora uvarum</i>
<i>Lactobacillus hordeii</i>	<i>Kloeckera apiculata</i>
<i>Lactococcus lactis ssp.</i>	<i>Candida lambica</i>
<i>Leuconostoc citreum</i>	<i>Candida valida</i>
<i>Lysinibacillus sphaericus</i>	<i>Dekkera bruxellensis</i>
<i>Gluconobacter frateurii</i>	<i>Pichia membranifaciens</i>
<i>Oenococcus oeni</i>	<i>Pichia occidentalis</i>

Fonte: Moretti *et al.* (2022).

Como visto na Tabela 1, as principais bactérias encontradas no kefir de água incluem bactérias ácido-láticas (BAL), bactérias acéticas e bifidobactérias, cada uma desempenhando um papel importante no processo fermentativo e nos potenciais benefícios à saúde.

A bactérias ácido-láticas encontradas, como *Lactobacillus plantarum* e *Lactococcus lactis*, contribuem para a acidificação do meio, inibindo microrganismos indesejáveis e podendo conferir propriedades probióticas. As bactérias acéticas, como *Acetobacter spp.* e *Gluconobacter spp.*, participam da oxidação de açúcares e álcoois, conferindo características sensoriais às bebidas fermentadas. Já as bifidobactérias, como *Bifidobacterium aquikefiri*, são reconhecidas por seu potencial probiótico, contribuindo para a modulação da microbiota intestinal e a promoção da saúde gastrointestinal. A presença dessas diversas comunidades microbianas ressalta a complexidade e o potencial funcional dessas bebidas fermentadas.

Os estudos sobre leveduras em bebidas fermentadas são menos abundantes do que aqueles voltados para as bactérias ácido-láticas e Bífido Bactérias. No entanto, essas leveduras desempenham um papel essencial na fermentação, contribuindo para o desenvolvimento de compostos aromáticos e outras características sensoriais. Como visto na Tabela 1, algumas das principais leveduras identificadas incluem *Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia membranifaciens* e *Candida sake*, que auxiliam na fermentação ao metabolizar açúcares e produzir etanol e CO₂. Embora algumas espécies de leveduras apresentem potencial probiótico, como *Saccharomyces boulardii*, amplamente utilizada na indústria como probiótico comercial, essa espécie não foi identificada na microbiota do presente estudo. A caracterização detalhada das leveduras é fundamental para compreender seu impacto na fermentação e seu possível papel funcional nos alimentos fermentados.

O tepache possui uma microbiota diversificada, composta principalmente por bactérias ácido-láticas, bactérias acéticas e leveduras. No entanto, ao analisar as espécies presentes, observa-se que sua microbiota apresenta diferenças significativas em relação a outras bebidas fermentadas. Além disso, a maioria dos estudos sobre produtos fermentados limita-se a identificar os microrganismos apenas até o nível de gênero e espécie, sem aprofundar a caracterização no

nível de cepa, o que pode impactar a compreensão de seus potenciais efeitos funcionais e probióticos.

Estudos indicam que o tepache passa por um processo complexo de fermentação microbiana. Alguns autores relatam a presença de diversas comunidades bacterianas e fúngicas envolvidas na produção de tepache, incluindo bactérias do ácido láctico, bactérias do ácido acético e várias espécies de leveduras (SARMIENTO *et al*, 2022; LÓPEZ *et al*, 2023). Conforme, listado na Tabela 2.

Tabela 2 – Espécies de bactérias e leveduras presentes no tepache

Microorganismos	
Bactérias	Leveduras
<i>Acetobacter spp</i>	<i>Candida boidinii</i>
<i>Gluconobacter spp</i>	<i>Candida inconspicua</i>
<i>Enterococcus faecium</i>	<i>Candida intermedia</i>
<i>Enterobacter aerogenes</i>	<i>Candida quereana</i>
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	<i>Candida pseudointermedia</i>
<i>Lactobacillus curvatu</i>	<i>Candida sake</i>
<i>Lactobacillus mesenteroides</i>	<i>Candida sorbosa</i>
<i>Lactobacillus pentosus</i>	<i>Hanseniaspora genus</i>
<i>Lactobacillus plantarum</i>	<i>Kloeckera Africana</i>
<i>Lactobacillus salivarius</i>	<i>Kloeckera apiculata</i>
<i>Lactobacillus lactis</i>	<i>Kloeckera japonica</i>
<i>Weissella confusa</i>	<i>Pichia membranifaciens</i>
<i>Bacillus graveolens</i>	<i>Saccharomyces bayanus</i>
<i>Bacillus mexicanus</i>	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>
<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Saccharomyces radaii</i>
<i>Proteus vulgaris</i>	-

Fonte: Herrera e Ulloa (1982); Terrazas (2005); González e Medina (2011); Mapes e Basurto (2016).

Ao comparar as tabelas 1 e 2, observa-se que o *Lactococcus lactis* está presente em ambas as bebidas. Essa semelhança pode indicar que esses microrganismos desempenham funções essenciais na fermentação de diferentes bebidas, contribuindo para a estabilidade microbiológica e possíveis efeitos funcionais. No entanto, a composição microbiana geral do tepache se diferencia do kefir de água devido ao seu processo de fermentação espontânea, o que pode resultar em uma maior variabilidade na presença e predominância de determinadas espécies ao longo do tempo.

A microbiota bacteriana do tepache, conforme apresentada na Tabela 2, é composta por bactérias ácido-láticas, bactérias acéticas e outras bactérias com funções diversas. As bactérias ácido-láticas, como *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus pentosus* e *Lactobacillus acidophilus*, desempenham um papel essencial na fermentação, contribuindo para a acidificação do meio, a preservação da bebida e possíveis benefícios à microbiota intestinal. Já as bactérias acéticas, como *Acetobacter* spp. e *Gluconobacter* spp., são responsáveis pela oxidação de açúcares e álcoois, influenciando o sabor e a qualidade sensorial do tepache. Além disso, outras bactérias, como *Enterococcus faecium* e *Bacillus subtilis*, podem desempenhar funções secundárias, como a produção de compostos antimicrobianos e enzimas que afetam o perfil bioquímico da bebida.

As bactérias do ácido lático isoladas do tepache produzem bacteriocinas apresentando efeitos antimicrobianos e produzem outros compostos, que contribuem para os atributos sensoriais, além da preservação da bebida (LIGENZA *et al.*, 2021).

De La Fuente-Salcido *et al.* (2015) investigaram a capacidade das bactérias presentes no tepache de produzir bacteriocinas e inibir o crescimento de bactérias patogênicas. Os resultados indicaram que as bactérias produtoras de bacteriocinas, *Lactococcus lactis* e *Enterococcus faecium*, foram capazes de inibir várias bactérias patogênicas, como *Micrococcus luteus* e *Escherichia coli*, em ensaios *in vitro*. A triagem dos

genes bacteriocinas revelou a presença de nisina e enterocina, produzidas respectivamente por *L. lactis* e *E. faecium*.

Ao comparar as leveduras presentes no tepache (Tabela 2) com as do kefir de água (Tabela 1), observa-se que alguns gêneros são comuns entre as duas bebidas, como *Saccharomyces* e *Pichi*. Isso pode indicar que essas leveduras desempenham papéis semelhantes na fermentação de diferentes matrizes, auxiliando na fermentação de açúcares e na formação de compostos aromáticos.

No entanto, a composição geral das leveduras no tepache é mais diversificada e característica de fermentações espontâneas, o que pode resultar em uma maior variação no perfil sensorial e na estabilidade do produto final. Essas diferenças reforçam a necessidade de um controle adequado da fermentação para garantir a qualidade e segurança do tepache.

A microbiota fúngica do tepache, conforme apresentada na Tabela 2, é composta por diversas espécies de leveduras, que desempenham um papel importante na fermentação, contribuindo para o desenvolvimento de compostos aromáticos, produção de CO₂ e modulação das características sensoriais da bebida. Entre as principais leveduras identificadas, destacam-se gêneros como *Candida*, *Saccharomyces*, *Hanseniaspora*, *Pichia* e *Kloeckera*.

As leveduras do gênero *Saccharomyces*, como *Saccharomyces cerevisiae* e *Saccharomyces bayanus*, são amplamente conhecidas por sua capacidade fermentativa e por sua resistência a condições adversas, sendo essenciais para a conversão de açúcares em etanol e gás carbônico. Já as leveduras do gênero *Hanseniaspora*, como *Hanseniaspora* genus, são frequentemente encontradas em fermentações espontâneas, atuando nas fases iniciais do processo e influenciando o perfil aromático da bebida.

Herrera e Ulloa (1978) foram um dos primeiros a conduzir investigações sobre a microbiologia do tepache. Em seu estudo, realizaram o isolamento de uma levedura presente em uma amostra de tepache produzido na região de Querétaro, no México, à qual foi atribuído o

nome *Candida queretana*. As características dessa levedura incluem sua capacidade de metabolizar L-sorbose, inulina e ácido succínico, além de seu crescimento bem-sucedido em um meio livre de vitaminas.

González, Medina e Arias (2011) buscaram, em seu estudo, analisar a presença de leveduras em uma amostra comercial e uma caseira de tepache. Os autores conseguiram isolar um total de 104 cepas de leveduras no tepache caseiro, das quais 95% pertenciam ao gênero *Hanseniaspora*. Na amostra comercial, a grande maioria das leveduras isoladas era do gênero *Saccharomyces*.

Probióticos e Bebidas Fermentadas: Investigando seus Benefícios e Limitações

O termo probiótico é originado do grego e significa “para a vida” ou “em prol da vida”. A definição de probiótico apresentada pela FAO/OMS é “microrganismos vivos que, quando administrados em quantidades adequadas, conferem benefícios à saúde do hospedeiro” (NEJATI *et al.*, 2020). Como destacado nessa definição, os benefícios de qualquer produto probiótico dependem da ingestão de uma quantidade adequada de microrganismos vivos (geralmente medida em UFC por dose). O principal desafio está relacionado a comprovar os efeitos à saúde do consumidor, pois isso exige estudos em humanos que são caros e difíceis de serem realizados em larga escala.

Em geral, várias espécies da família Lactobacillaceae, como *Lactobacillus acidophilus* (*L. acidophilus*), *L. casei*, *L. rhamnosus* e *L. helveticus*, têm sido extensivamente estudadas para a prevenção de certos distúrbios de saúde (BALLINI *et al.*, 2023). No entanto, para que um microrganismo seja considerado probiótico, é fundamental que ele seja identificado até o nível de cepa, pois diferentes cepas dentro da mesma espécie podem apresentar efeitos distintos no organismo humano. Além disso, a comprovação de seus efeitos probióticos requer estudos específicos que demonstrem sua segurança, eficácia e funcionalidade, bem como sua resistência às condições

gastrointestinais e sua capacidade de interação benéfica com a microbiota (FAO/WHO, 2002).

A cepa de um microrganismo é identificada por um laboratório e deve ser catalogada pelo gênero, espécie e linhagem. A importância de se definir uma cepa é que os estudos dos benefícios não são intercambiáveis, ou seja, só são válidos para a cepa e concentração pesquisada (COSTA; MIGLIORANZA, 2013).

A caracterização de bebidas fermentadas, tais como o kefir de água e o tepache, como alimentos probióticos enfrenta desafios significativos devido à complexidade inerente à comprovação científica de seus efeitos benéficos em humanos. Entre os principais obstáculos, destacam-se:

- Alto custo da identificação de microrganismos até o nível de cepa: A identificação precisa das cepas presentes nessas bebidas é essencial, pois diferentes cepas podem ter efeitos distintos no organismo humano. Esse processo requer técnicas avançadas de microbiologia e sequenciamento genético, que são dispendiosas.

- Necessidade de estudos clínicos robustos para validar os efeitos benéficos em humanos: Embora estudos *in vitro* e em modelos animais possam fornecer evidências preliminares, é fundamental realizar ensaios clínicos em humanos para confirmar os benefícios à saúde atribuídos a essas bebidas. Tais estudos demandam recursos financeiros consideráveis, tempo e infraestrutura adequada.

- Variação da microbiota ao longo do processo fermentativo: Tanto no tepache, que passa por fermentação espontânea, quanto no kefir de água, que utiliza um inóculo natural (grãos de kefir), a composição microbiana pode sofrer alterações ao longo do tempo. Essa variabilidade dificulta a padronização dos produtos e a garantia de efeitos consistentes.

- Elucidação das possíveis interações entre os diferentes microrganismos: As interações sinérgicas ou antagônicas entre as diversas espécies presentes nas bebidas fermentadas podem influenciar seus efeitos probióticos. Compreender essas interações é crucial,

mas representa um desafio devido à complexidade das comunidades microbianas envolvidas.

Apesar desses desafios, há pesquisas que analisaram microrganismos extraídos dos grãos de kefir de água, como as Bifidobactérias, bactérias láticas entre outras. Elas levaram em conta aspectos como atividade biológica, presença de metabólitos, capacidade de colonização, resistência, adesão à mucosa do trato gastrointestinal, competição com organismos patogênicos e quantidades ingeridas. Esses estudos revelaram que esses microrganismos apresentam diversas características potencialmente probióticas que contribuem para benefícios à saúde (ROMERO-LUNA *et al.*, 2020).

Embora as bactérias probióticas sejam conhecidas por seus efeitos positivos no sistema imunológico e digestivo, é necessário realizar mais estudos clínicos robustos para confirmar suas vantagens à saúde. Além disso, como dito anteriormente os efeitos probióticos são específicos para cada cepa. A identificação das cepas na microbiota é fundamental para garantir sua segurança, condições de crescimento e características metabólicas (OZCELIK; AKAN; KINIK, 2021).

Dados obtidos a partir do estudo do tepache indicam a presença de bactérias do gênero *Lactobacillus* e *Lactococcus lactis*. Essas bactérias são responsáveis pela fermentação lática e possuem propriedades promissoras para a saúde (DE LA FUENTE-SALCIDO *et al.* 2015). As cepas de *L. pentosus*, apresentam potencial probiótico (ROBLERO *et al.*, 2019; RAMÍREZ *et al.*, 2020).

Foram isoladas cepas de *L. plantarum* a partir do tepache, que apresentam propriedades benéficas para a saúde humana, como a proteção das células epiteliais intestinais e o fortalecimento da barreira intestinal, resultantes da interação com a microbiota intestinal do hospedeiro (RAMÍREZ *et al.*, 2020).

O processo de fermentação da bebida resulta na produção de compostos bioativos e em alterações nas características físico-químicas, o que pode potencializar suas propriedades funcionais (SARMIENTO *et al.*, 2022). Embora os probióticos tenham mostrado

benefícios para a microbiota intestinal, incluindo efeitos antagonistas contra patógenos e a modulação do sistema imunológico, são necessárias mais pesquisas para compreender completamente os impactos específicos do tepache na saúde (LIMA; WESCHENFELDER, 2019; LIGENZA *et al.*, 2021).

Benefícios

Ambas as bebidas contêm bactérias ácido-láticas capazes de produzir bacteriocinas, que podem ter efeitos antimicrobianos (DE LA FUENTE-SALCIDO *et al.*, 2015). O consumo regular de produtos relacionados ao kefir tem sido associado a vários benefícios à saúde, incluindo melhora da saúde intestinal, atividade antimicrobiana, efeitos anticancerígenos e melhor função imunológica (AHMED *et al.*, 2013). Essas bebidas fermentadas representam uma área promissora para futuras pesquisas sobre seu potencial nutricional e terapêutico (GÖKIRMAKLI *et al.*, 2024).

Segundo Kumar *et al.* (2021), as possíveis características benéficas do kefir de água são afetadas por diversas variáveis, como o tipo de base utilizada, a temperatura durante a fermentação e a duração do processo, podendo os benefícios serem detalhados na Figura 4.

Figura 4 – Fluxograma dos benefícios do kefir de água

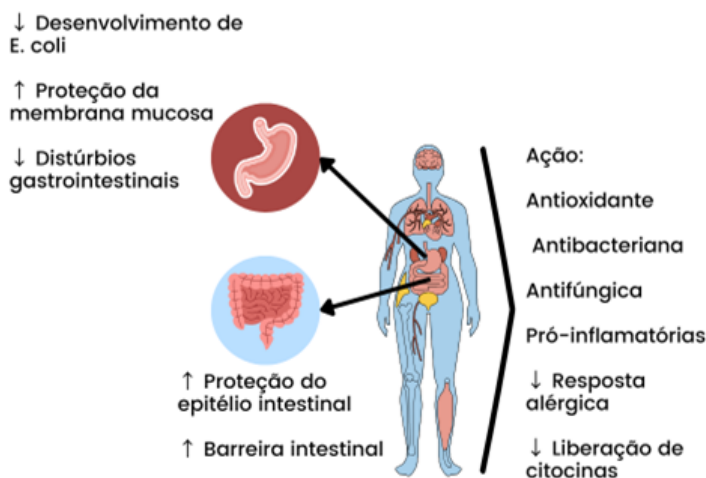


Fonte: os autores (2025).

O tepache apresenta uma série de benefícios para a saúde, sendo uma bebida fermentada que contém bactérias que promovem a saúde intestinal. Essas cepas bacterianas aumentam a segurança dos produtos alimentícios e prolongam o armazenamento de alimentos fermentados, além de exercerem ação protetora sobre as células epiteliais intestinais e fortalecerem a barreira intestinal, melhorando a saúde gastrointestinal (WOŁKOWICZ; HOZYASZ, 2013; DE LA FUENTE-SALCIDO *et al.*, 2015; RAMÍREZ *et al.*, 2020).

Além disso, as cepas de *L. plantarum* podem colonizar o trato digestivo, auxiliando o organismo durante episódios de distúrbios gastrointestinais. *Lactobacillus paracasei* inibe o crescimento de *Escherichia coli* e previne alterações na mucosa gástrica que podem levar a úlceras, câncer e perfurações (LIGENZA *et al.*, 2021). Essas bactérias também ajudam a modular a resposta imunológica, aliviando alergias, e apresentam atividade antibacteriana, antioxidante e antifúngica (CHIANG; PAN, 2012). Tais benefícios estão descritos conforme mostrado na figura 5.

Figura 5 – Benefícios do consumo de tepache para saúde



Fonte: Adaptado de Ligenza *et al.* (2021).

As cepas de *Lactococcus lactis* proporcionam valor sensorial adicional aos produtos alimentícios, exercendo uma forte ação antibiótica e contribuindo para a redução da inflamação ao diminuir a quantidade de citocinas pró-inflamatórias. Por fim, o tepache pode ter um efeito normalizador no perfil lipídico do sangue, tornando-se um alimento funcional que contribui para a saúde geral e o bem-estar (BENDALI, 2017; CHEN, 2017; YERLIKAYA, 2019).

Considerações finais

A produção de bebidas fermentadas possui origens remotas, tendo suas formulações aperfeiçoadas ao longo do tempo, tanto na produção artesanal quanto na industrial. A crescente busca por alimentos versáteis e funcionais, como os fermentados, reflete a preocupação da população com a saúde e o bem-estar, especialmente diante de

rotinas aceleradas e do aumento de comorbidades associadas ao estilo de vida moderno.

Entre as bebidas fermentadas não alcoólicas, o kefir de água e o tepache têm despertado interesse tanto de consumidores quanto de pesquisadores devido à presença de microrganismos potencialmente benéficos. O processo fermentativo dessas bebidas, aliado à adição de substratos específicos, não apenas melhora as características sensoriais, mas também contribui para a sua riqueza nutricional. Esses fatores podem conferir propriedades funcionais às bebidas, embora a comprovação de efeitos probióticos ainda seja um desafio.

Apesar dessas limitações, os benefícios dos alimentos fermentados são amplamente reconhecidos, mesmo quando não podem ser categorizados como probióticos. Estudos sobre a funcionalidade das bactérias isoladas do tepache indicam que algumas cepas apresentam atividade antimicrobiana e capacidade de produção de bacteriocinas, sugerindo seu potencial uso como aditivos ou culturas iniciadoras em alimentos funcionais. Para esse fim, é essencial avançar em pesquisas que avaliem a sobrevivência desses microrganismos em condições gastrointestinais simuladas e sua viabilidade para aplicação comercial.

Além disso, há desafios regulatórios quanto à classificação e comercialização dessas bebidas, pois ainda falta uma legislação específica no Brasil que contemple os alimentos fermentados não alcoólicos e não lácticos como o kefir de água e o tepache. Questões como a padronização do processo de fermentação, controle da carbonatação e teor alcoólico do kefir de água e do tepache também demandam estudos adicionais para evitar a supercarbonatação e para mantê-los classificados como alimentos não alcoólicos.

A equipe coordenada pelo Professor Luciano José Quintão Teixeira da Ufes tem feito vários trabalhos para preencher as lacunas existentes em relação a este tema. Porém, novas pesquisas são essenciais para aprofundar o conhecimento sobre as propriedades microbiológicas e funcionais dessas bebidas, contribuindo tanto para a

inovação na indústria de alimentos quanto para a segurança e eficácia do consumo desses produtos fermentados.

Referências

- AGUILAR, K. Evaluating ultrasound pre-treatment as a tool for improving the process of a fermented beverage made from pineapple by-products. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 25, 2022. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.11621>.
- ARMENDÁRIZ, P. B.; CARDOSO, U. G. A. Traditional fermented beverages in Mexico: biotechnological, nutritional, and functional approaches. **Food Research International**. 2020. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2020.109307>.
- BALLINI, A.; CHARITOS, I. A.; CANTORE, S.; TOPI, S.; BOTTALICO, L.; SANTACROCE, L. About Functional Foods: The Probiotics and Prebiotics State of Art. **Antibiotics**, v. 12, n. 4, p. 635, 2023. <https://doi.org/10.3390/ANTIBIOTICS12040635>.
- BENDALI, F.; KERDOUCHE, K.; HAMMA-FARADJI, S.; DRIDER, D. *In vitro* and *in vivo* cholesterol lowering ability of *Lactobacillus pentosus* KF923750. **Beneficial Microbes**, v. 8, p. 271–80. 2017. <https://doi.org/10.3920/BM2016.0121>.
- CAI, Y.; SERVENTI, L.; SOUNDERRAJAN, A. Water Kefir: A Review of its Microbiological Profile, Antioxidant Potential and Sensory Quality. **Acta Scientific Nutritional Health**, v. 4, n. 6, p. 10-17. 2020. <https://doi.org/10.31080/ASNH.2020.04.0706>.
- CHAVES, K. F.; MOZER, L. O.; WICHELO, S. P.; FERNANDES, K. C. F.; LOUZADA, G. E.; TEIXEIRA, L. J. Q. Caracterização físico-química e microbiológica de bebidas fermentadas com kefir de água saborizadas. In: **VII Semana Capixaba de Engenharia de Alimentos, I Semana Acadêmica de Ciência e Tecnologia de Alimentos e VIII Seminário de Integração em**

- Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2024, Alegre-ES.** Anais [...]. Alegre-ES: Universidade Federal do Espírito Santo, 2024.
- CHAVES, K. F.; MOZER, L. O.; WICHELO, S. P.; PEREIRA, A. P.; SARAIVA, S. H.; TEIXEIRA, L. J. Q. Influência de diferentes sabores de sucos na aceitação sensorial e intenção de compra de bebidas kefiradas. *In: VII Semana Capixaba de Engenharia de Alimentos, I Semana Acadêmica de Ciência e Tecnologia de Alimentos e VIII Seminário de Integração em Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2024, Alegre-ES* [...]. Alegre-ES: Universidade Federal do Espírito Santo, 2024.
- CHEN, Y-H.; WU, C-S.; CHAO, Y-H.; LIN, C. C.; TSAI, H. Y.; LI, Y. R.; CHEN, Y. K. *Lactobacillus pentosus* GMNL-77 inhibits skin lesions in imiquimod-induced psoriasis-like mice. **Journal of Food and Drug Analysis**, v. 25, p. 559–66. 2017. <https://doi.org/10.1016/J.JFDA.2016.06.003>.
- CHIANG, S. S; PAN, T. M. Beneficial effects of *Lactobacillus paracasei* subsp. *paracasei* NTU 101 and its fermented products. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 93, p. 903–16. 2012. <https://doi.org/10.1007/S00253-011-3753-X>.
- COSTA, G. N.; MIGLIORANZA, L. H. Micro-organismos probióticos: caracterização de linhagens e seus efeitos no hospedeiro. **Boletim Do Centro De Pesquisa De Processamento De Alimentos**, v. 31, n. 2, 2013. <https://doi.org/10.5380/cep.v31i2.34842>.
- DE LA FUENTE, S. N. M.; CASTAÑEDA-RAMÍREZ, J. C.; GARCÍA-ALMENDÁREZ, B. E.; GARCÍA-ALMENDÁREZ, B. E.; BIDESHI, D. K.; SALCEDO-HERNÁNDEZ, R.; BARBOZA-CORONA, J. E. Isolation and characterization of bacteriocinogenic lactic bacteria from M-Tuba and Tepache, two traditional fermented beverages in México. **Food Science & Nutrition**, v. 3, p. 434–42. 2015. <https://doi.org/10.1002/FSN3.236>.
- DE LIMA, T. L.; WESCHENFELDER, S. Benefícios dos probióticos para a microbiota intestinal e sua adição em derivados lácteos

- e suplementos. **Revista Do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 74, n. 1, p. 51–59. 2019. <https://doi.org/10.14295/2238-6416.v74i1.712>.
- EFFENDI, V. P.; PARHUSIP, A. J. Kajian literatur spesifikasi mutu fisikokimia dan mikrobiologis water kefir dengan variasi konsentrasi substrat dan starter. **Jurnal Teknologi Pangan dan Kesehatan (The Journal of Food Technology and Health)**, v. 3, n. 2, p. 66–67. 2022. <https://doi.org/10.36441/jtepa-kes.v3i2.558>.
- FAO/WHO (Food and Agriculture Organization/World Health Organization). **Guidelines for the Evaluation of Probiotics in Food**. Report of a Joint FAO/WHO Working Group on Drafting Guidelines for the Evaluation of Probiotics in Food. London, Ontario, Canada, 2002.
- GÖKIRMAKLI, Ç.; ŞATIR, G.; GUZEL-SEYDİM, Z. B. Microbial viability and nutritional content of water kefir grains under different storage conditions. **Food Science & Nutrition**, v. 12, p. 4143–4150. 2024. <https://doi.org/10.1002/FSN3.4074>.
- GONZÁLEZ, C. R.; IBARRA, R. J.; GONZÁLEZ, G. P.; ORTIZ, P. C.; MORALES, G. G.; GUEVARA, A. E. The use of response surface methodology to evaluate the fermentation conditions in the production of tepache. **Revista Mexicana de Física**, v. 12, p. 19–28. 2013.
- GUZEL-SEYDİM, Z. B.; GÖKIRMAKLI, Ç.; GREENE, A. K. A comparison of milk kefir and water kefir: Physical, chemical, microbiological and functional properties. **Trends in Food Science & Technology**, v. 113, p. 42 – 53. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.041>.
- HERNÁNDEZ, T.; ULLOA, M. *Pichia Membranaefaciens* and *Saccharomyces Cerevisiae*, Yeasts Involved in the Fermentation of the Beverage Called Tepache in Mexico. **Boletín de La Sociedad Mexicana de Micología**, v. 17, p. 15–24. 1982.

- KUMAR, M. R.; SIM, S. K.; MOHAMAD, N. E.; ABDULLAH, J. O.; MASARUDIN, M. J.; KHALID, M.; LEOW, A. T. C.; ALITH-EEN, N. B. Metagenomic and phytochemical analyses of kefir water and its subchronic toxicity study in *BALB/c* mice. **BMC Complementary Medicine and Therapies**, v. 21, n. 1, p. 1–15. 2021. <https://doi.org/10.1186/s12906-021-03358-3>.
- LARA-HIDALGO, C.; HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, H.; HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, C.; DORANTES ÁLVAREZ, L. Yeasts in fermented foods and their probiotic potential. **Austin J. Nutr. Metabol**, v. 4, n. 1, p. 1–8. 2017.
- LIGENZA, A.; JAKUBCZYK, K.; KOCHMAN, J.; JANDA, K. Health-promoting potential and microbial composition of fermented drink tepache. **Medycyna Ogólna i Nauki o Zdrowiu**, v. 27, n. 3, p. 272–276. 2021. <https://doi.org/10.26444/monz/138713>.
- LIGER-BELAIR, G. Carbon dioxide solubility in sugar and water-ethanol solutions for applications to sparkling drinks. **ACS food science & technology**, v. 5, n. 1, p. 36–49, 2025.
- LÓPEZ, L.; ALCÁNTAR, J. R. O.; GARCÍA, J. A. A. Identificación de levaduras aisladas del Tepache tradicional de Guerrero, México: Identification of yeasts isolated of the traditional Tepache of Guerrero, Mexico. **Revista electrónica de ciencias biológicas y agropecuarias**, n. 20, p. 132–140, 2023. <https://doi.org/10.32870/ecucba.vi20.305>.
- LOUZADA, G. E.; PEREIRA, G. L. de L.; MOREIRA, I. C.; TEIXEIRA, L. J. Q. Aproveitamento sustentável: Caracterização de bebida fermentada com cascas de abacaxi. In: **I Semana Acadêmica de Ciência e Tecnologia de Alimentos. VII Semana Capixaba de Engenharia de Alimentos. VIII Seminário de Integração em Ciência e Tecnologia de Alimentos**. 1, 2024. Alegre. Anais [...]. Alegre, 2024, p. 13.
- LYNCH, K. M.; WILKINSON, S.; DAENEN, L.; ARENDT, E. K. An update on water kefir: Microbiology, composition and production.

- International Journal of Food Microbiology**, v. 345, 2021. <https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2021.109128>.
- MAMLOUK, D.; GULLO, M. Acetic acid bacteria: physiology and carbon sources oxidation. **Indian Journal of Microbiology**, v. 53, n. 4, p. 377–384, 2013. <https://doi.org/10.1007/s12088-013-0414-z>.
- MAPES, C.; BASURTO, F. Ethnobotany of Mexico: Interactions of People and Plants in Mesoamerica. **Biodiversity and Edible Plants of Mexico**, New York, NY, p. 83–131. 2016. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6669-7_1.
- MASOOD, M. I. *et al.* Beneficial effects of lactic acid bacteria on human beings. **Critical Reviews in Microbiology**, v. 36, n. 1, p. 91–8, 2010. <https://doi.org/10.3109/1040841X.2010.536522>.
- MORENO-TERRAZAS, R. D. **Determinación De Las Características Microbiológicas, Bioquímicas, Fisicoquímicas y Sensoriales Para La Estandarización Del Proceso De Elaboración De Tepache**. Edited by S. H. Ochoa. Universidad Autónoma Metropolitana, 2005.
- MORETTI, A. F.; MOURE, M. C.; FLORENCIA, Q.; FIORELLA, E.; SIMONELLI, N.; MEDRANO, M.; LEÓN-PELÁEZ, Á. Water kefir, a fermented beverage containing probiotic microorganisms: from ancient and artisanal manufacture to industrialized and regulated commercialization. **Future Foods**. 2022. <https://doi.org/10.1016/J.FUFO.2022.100123>.
- NEJATI, F.; JUNNE, S.; NEUBAUER, P. A. A Big World in Small Grain: A Review of Natural Milk Kefir Starters. **Microorganisms**, v. 8, n. 2, p. 192. 2020. <https://doi.org/10.3390/MICROORGANISMS8020192>.
- OVIEDO, L. J. F.; CORNEJO, M. M.; ORTIZ-HERNÁNDEZ, R.; TORRES-RAMÍREZ, N.; HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, H.; CASTRO-RODRÍGUEZ, D. C. Exploration adhesion properties of *Liquorilactobacillus* and *Lentilactobacillus* isolated from two

- different sources of tepache kefir grains. **PloS One**, v. 19, n. 2, 2024. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0297900>.
- OZCELIK, F.; AKAN, E.; KINIK, O. Use of Cornelian cherry, hawthorn, red plum, roship and pomegranate juices in the production of water kefir beverages. **Food Bioscience**, v. 42, p. 101219. 2021. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2021.101219>.
- PENDÓN, M. D.; BENGUA, A. A.; IRAPORDA, C.; MEDRANO, M.; GARROTE, G. L.; ABRAHAM, A. G. Water kefir: Factors affecting grain growth and health-promoting properties of the fermented beverage. **Journal of Applied Microbiology**, v. 133, p. 162–180. 2022. <https://doi.org/10.1111/JAM.15385>.
- RAMÍREZ, E. M. C.; ORDAZ, J. J.; IGLESIAS, E. V. A.; SERRANO, R. G. M.; LÓPEZ, C. E.; GODÍNEZ, R. J.; OLIVARES, L. G. *Lactobacillus pentosus* ABHEAU-05: An in vitro digestion resistant lactic acid bacterium isolated from a traditional fermented Mexican beverage. **Revista Argentina de Microbiología**, v. 52, n. 4, p. 305–314. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2019.10.005>.
- RATTANACHAIKUNSOPON, P.; PHUMKHACHORN, P. Lactic Acid Bacteria: Their Antimicrobial Compounds and Their Uses in Food Production. **Annals of Biological Research**, v. 1, n. 4, p. 218–228, 2010.
- ROBLERO, B. C.; QUIJANO, R. R.; FIGUEROA, S. M.; LÓPEZ, G. D.; VÁZQUEZ, O. A. Antifungal lactic acid bacteria isolated from fermented beverages with activity against *Colletotrichum gloeosporioides*. **Food Bioscience**, v. 29, p. 47–54. 2019. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2019.03.008>.
- RODRÍGUEZ, M. A.; FERNÁNDEZ, L. A.; DÍAZ, M. L.; PÉREZ, M.; CORONA, M.; REYNALDI, F. J. Microbiological and chemical characterization of water kefir: An innovative source of potential probiotics for bee nutrition. **Revista Argentina de Microbiología**, v. 55, n. 2, p. 176–180. 2023. <https://doi.org/10.1016/J.RAM.2022.09.003>.

- RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, E. M.; MURO-MEDINA, C. V.; ARIAS, A. Identificación De Levaduras Aisladas De Tepache Casero Y Comercial. In: **POSTER SESSION PRESENTATION AT THE XIV CONGRESO NACIONAL DE BIOTECNOLOGÍA Y BIOINGENIERÍA, 1, 2022, Querétaro**. Anais [...]. Querétaro, 2022.
- ROMERO-LUNA, H. E.; HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, H.; D'ÁVILA-ORTIZ, G. Traditional fermented beverages from Mexico as a potential probiotic source. **Annals of Microbiology**, v. 67, n. 9, p. 577–586. 2021. <https://doi.org/10.1007/S13213-017-1290-2/TABLES/4>.
- ROMERO-LUNA, H. E.; PEREDO-LOVILLO, A.; HERNÁNDEZ-MENDOZA, A.; HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, H.; CAUICH-SÁNCHEZ, P. I.; RIBAS-APARICIO, R. M.; DÁVILA-ORTIZ, G. Probiotic Potential of *Lactobacillus paracasei* CT12 Isolated from Water Kefir Grains (*Tibicos*). **Current Microbiology**, v. 77, n. 10, p. 2584–2592. 2020. <https://doi.org/10.1007/S00284-020-02016-0>.
- SARMIENTO, G. W.; OCANA, A. P. O. B.; GUTIÉRREZ, A. L.; ALBORES, G. M. J.; CHÁVEZ, J. R.; VALDIVIEZO, R. M. V. Microbial community structure, physicochemical characteristics and predictive functionalities of the Mexican tepache fermented beverage. **Microbiological Research**, v. 260, 2022. <https://doi.org/10.1016/J.MICRES.2022.127045>.
- TAMANG, J. P.; COTTER, P.; ENDO, A., HAN, N. S.; KORT, R.; LIU, S. Q.; MAYO, B.; WESTERIK, N.; HUTKINS, R. Fermented foods in a global age: East meets West. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 19, p. 184–217. 2020. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12520>.
- TEIXEIRA, L. J. Q.; WICHELO, S. P.; MOZER, L. O.; FERNANDES, K. C. F. Impacto da temperatura e do teor de sólidos solúveis na atividade microbiana do kefir de água. [S. l.: s. n.], [s. d.].

- WICHELO, S. P.; MOZER, L. O.; FERNANDES, K. C. F.; PEREIRA, A. P.; LOUZADA, G. E.; PEREIRA, G. P.; SARAIVA, S. H.; TEIXEIRA, L. J. Q. **Elaboração e caracterização de uma bebida fermentada e carbonatada naturalmente, utilizando grãos de kefir de água e suco de fruta.** [S. l.: s. n.], 2024.
- YERLIKAYA, O. Probiotic potential and biochemical and technological properties of *Lactococcus lactis* ssp. *lactis* strains isolated from raw milk and kefir grains. **Journal of Dairy Science**, v. 102, p. 124–34. 2019. <https://doi.org/10.3168/JDS.2018-14983>.

Pós-colheita do cacau

Maria Emília Rodrigues Valente • Patrícia Campos Bernardes •

Raquel Vieira de Carvalho • Bárbara Nicchio Casotti •

Sarah Helmer de Souza Ramos

O cultivo de cacau no Brasil tem se mostrado um pilar importante para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental, especialmente com a crescente demanda por produtos de origem sustentável. De acordo com Buainain e Batalha, (2007), o setor apresenta um elevado efeito multiplicador de renda, essencial para dinamizar economias locais, especialmente nas regiões mais carentes de alternativas de desenvolvimento.

O cacau é um fruto originário da floresta Amazônica sendo amplamente cultivado na região intertropical do planeta, especialmente na região oeste do continente africano. No Brasil, é cultivado principalmente nos estados do Pará, Bahia e Espírito Santo.

A demanda mundial de cacau tem gerado maiores exigências quanto à sua qualidade avaliada sob diferentes aspectos, como sensoriais, físicos, químicos, e fatores benéficos à saúde humana (CADONÁ *et al.*, 2022). Neste sentido, as operações pós-colheita do cacau apresentam grande relevância na obtenção de amêndoas de excelência.

A colheita do cacau é o primeiro passo do seu beneficiamento e um dos mais importantes, e se bem realizada, pode favorecer o

processo fermentativo (FERREIRA *et al.*, 2013). Após a colheita, os frutos são abertos e as sementes, juntamente com a polpa, seguem para as etapas de fermentação e secagem. Todas essas operações são normalmente efetuadas na própria propriedade.

A fermentação adequada do cacau é imprescindível para produzir um produto final saboroso. Nesse processo, leveduras e bactérias metabolizam a polpa, produzindo compostos que causam a quebra dos açúcares presentes e da mucilagem. Os metabólitos gerados nesse processo promovem a morte da semente, não podendo mais haver germinação. Além disso, durante esta etapa, determinados compostos químicos, considerados precursores de sabor e aroma, são formados, sendo indispensáveis para o desenvolvimento do sabor de chocolate nas etapas posteriores (BECKETT, 2008). Recentemente, a fermentação do cacau tem sido aprimorada com o uso de leveduras como culturas iniciadoras, que aumentam as notas aromáticas desejáveis e melhoram a qualidade sensorial do produto final (ASSI-CLAIR *et al.*, 2019; CORIA-HINOJOSA *et al.*, 2024).

Durante a secagem das amêndoas, as reações enzimáticas iniciadas na fermentação são finalizadas, o que contribui de forma positiva para o sabor. A redução da umidade também permite tornar o cacau um produto estável do ponto de vista químico e microbiológico, facilitando a comercialização do produto.

Neste capítulo são abordados aspectos do processamento do cacau realizado nas propriedades produtoras, com ênfase na fermentação, para obtenção de amêndoas de cacau de qualidade.

Colheita e quebra do cacau

O cacaueiro é, geralmente, uma árvore de pequeno porte (4 a 8 metros de altura), embora possa atingir até 10 metros quando sombreada em florestas. Os frutos geralmente têm de 15 a 25 cm de comprimento

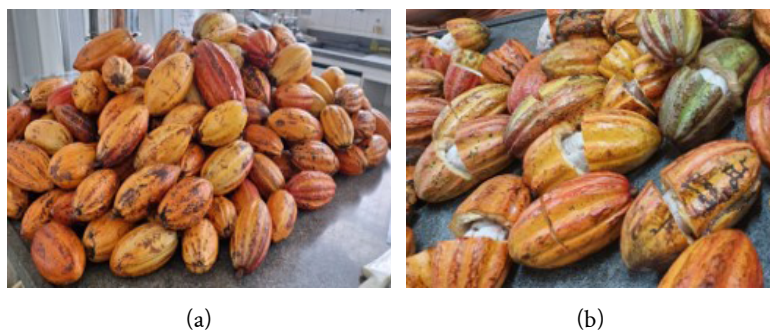
e contém, no seu interior, entre 30 e 50 sementes envoltas por uma polpa mucilagínosa (AFOAKWA, 2016).

Os frutos do cacau se desenvolvem no tronco e nos galhos e amadurecem em cerca de 5 a 6 meses após a fertilização (NIGAM; SINGH, 2014). A aparência externa, especialmente a cor da casca, é o principal indicador para determinar a maturidade do fruto durante a colheita. No entanto, devido às diferenças entre os híbridos de cacau, essa cor pode variar entre vermelho, laranja ou amarelo. O grau de maturação do fruto pode influenciar diretamente na composição das sementes e, conseqüentemente, no processo de fermentação (AFOAKWA; PATERSON, 2010; HERNÁNDEZ *et al.*, 2019).

A maturação dos frutos de uma mesma planta não ocorre ao mesmo tempo, logo a colheita deve ser feita em tempos determinados (a cada 2 a 4 semanas) durante vários meses. A colheita frequente reduz perdas, devido ao ataque de insetos, roedores, entre outros, e permite ao agricultor um melhor manejo da plantação pela remoção de frutos doentes, melhorando, assim, os aspectos fitossanitários da lavoura (BECKETT *et al.*, 2017).

A colheita do cacau é realizada manualmente, utilizando ferramenta apropriada, conhecida como podão. Devem ser priorizados frutos em perfeito estado de maturação (Figura 1), o que pode ser percebido pela coloração característica da casca. Frutos bem maduros apresentam polpa mais liquefeita, com maior teor de açúcares, e as sementes se desprendem com facilidade, ideal para uma boa fermentação (BATALHA, 2009; CRUZ, 2020). Nos frutos imaturos, a quantidade de açúcares na polpa é menor, afetando negativamente a fermentação. Por outro lado, frutos excessivamente maduros, além de mais suscetíveis a doenças, apresentam, normalmente, sementes germinadas e polpa escassa e liquefeita, prejudicando a fermentação (BATALHA, 2009).

Figura 1 – Cor da casca dos frutos de cacau Forastero (a)
e frutos abertos Forastero clone PH16 (b)



Fonte: Os autores.

Durante a colheita, é importante evitar a perfuração dos frutos, pois nesses casos o processo de fermentação se iniciará, de forma precoce, dentro do fruto, o que é indesejável. Nas lavouras, é comum que o cacau recém-colhido seja agrupado, de acordo com o grau de maturação, nas chamadas bandeiras ou rumas (pilhas amontoadas do fruto), sendo também separados frutos com danos ou sinais de doenças. As bandeiras devem ser feitas em local adequado, se possível sobre lona plástica ou tablado de madeira (FERREIRA *et al.*, 2013).

Após a colheita, os frutos são abertos, geralmente com auxílio de um facão (BATALHA, 2009). Em alguns países, incluindo o Brasil, é comum a prática de estocar os frutos antes da quebra. Tem sido relatado que a prática reduz o volume da polpa e o teor de água, impactando, consequentemente, a composição química das amêndoas (HINNEH *et al.*, 2019). No entanto, o armazenamento dos frutos também apresenta desafios, como o aumento de sementes mofadas ou danificadas devido ao armazenamento prolongado e às condições de armazenamento descontroladas (DEWI *et al.*, 2024).

A quebra deve ser realizada em local protegido da chuva e em cima de uma lona plástica ou de folhas de bananeira, para evitar contaminação indesejada. Ao abrir o fruto, ocorre a separação da casca

e placenta das sementes com polpa. Uma vez que a quebra, ou abertura dos frutos, ocorre tradicionalmente nas lavouras cacaueiras, as sementes devem ser colocadas em recipientes limpos – sacos plásticos próprios para cacau mole, barris ou caixas plásticas com tampa – para que sejam transportadas, imediatamente após a quebra, ao local onde serão fermentadas. Os recipientes devem ser mantidos fechados para evitar o contato do ar com o cacau úmido. Não se deve misturar cacau mole de frutos quebrados em dias diferentes, pois pode haver perda de qualidade, pela falta de homogeneidade do lote (FERREIRA *et al.*, 2013).

Normalmente, há cerca de 30-45 sementes no interior do fruto unidas pela placenta (BECKETT; FOWLER; ZIEGLER, 2017). Cada variedade de cacau possui um volume específico de polpa, bem como uma quantidade de açúcar disponível no meio, que varia de acordo com as condições climáticas e com o grau de maturação do fruto (Figura 2).

Figura 2 – Sementes de cacau revestidas pela polpa mucilagínosa antes do início da fermentação



Fonte: Os autores.

A polpa é rica em açúcares fermentescíveis, contendo cerca de 9 a 13% de sacarose (que corresponde a, aproximadamente, 90% dos

açúcares totais), seguida pela frutose e glicose (cerca de 6%). Apresenta elevada acidez devido a presença de ácidos orgânicos, principalmente ácido cítrico, pH entre 3,0–3,5 e um teor de proteína na faixa de 0,4 a 0,6% (KONGOR *et al.*, 2016; LIMA *et al.*, 2011). Já os cotilédones (parte interna das sementes), possuem, aproximadamente, 32–39% de água, 30–32% de gordura, 10–15% de proteínas, 5–6% de polifenóis, 4–6% de amido, 4–6% de pentosanas, 2–3% de celulose, 2–3% de sacarose, 1–2% de teobromina, 1% de ácidos totais e 1% de cafeína (BERTAZZO *et al.*, 2011; KONGOR *et al.*, 2016).

O teor de compostos bioativos do cacau, tais como polifenóis, aminas bioativas, metilxantinas, aminoácidos, entre outros, são influenciados por fatores como genótipo, maturidade fisiológica da semente, origem geográfica, microbiota (seja ela inerente, adicionada ou contaminante) (SILVEIRA *et al.*, 2023) e processamento, com destaque para as etapas de fermentação (HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ *et al.*, 2018). Além disso, o local de cultivo, a variedade do fruto, o solo e fatores ambientais podem modificar a diversidade microbiana ao longo da fermentação (BASTOS *et al.*, 2018; CHETSCHIK *et al.*, 2018), que afeta diretamente os componentes encontrados nas amêndoas, já que, durante o processamento, as reações microbianas que ocorrem na polpa mucilaginosa desencadeiam reações bioquímicas no interior da semente, alterando sua composição fenólica e outros compostos bioativos (CRUZ *et al.*, 2015).

Fermentação

A fermentação é um processo chave para determinação das características sensoriais e físico-químicas dos produtos de cacau, sendo indispensável para produzir um produto final de qualidade. Os objetivos principais desta etapa são a remoção da polpa mucilaginosa que envolve as sementes e a formação dos compostos precursores de sabor, aroma e cor (BATALHA, 2009; NIGAM; SINGH, 2014).

A fermentação dura, em média, de 4 a 7 dias, dependendo da variedade do cacau (CASTRO-ALAYO *et al.*, 2019; HAMDOUCHE *et al.*, 2019; KOUAMÉ *et al.*, 2021; PEREZ; LOPEZ-YERENA; VALL-VERDÚ-QUERALT, 2022) da microbiota presente (MOTA-GUTIERREZ *et al.*, 2021) e das condições do ambiente (ESCOBAR *et al.*, 2021). Ocorre na polpa, geralmente de forma espontânea, a partir de microrganismos presentes, principalmente, nas mãos dos trabalhadores, utensílios como facas, cestos utilizados para transporte e mucilagem presente nas caixas, remanescente de fermentações anteriores (CRUZ, 2020; SCHWAN; WHEALS, 2004).

Entretanto, de acordo com Constante Catuto *et al.*, (2024), para melhorar a qualidade do cacau, têm sido investigados os efeitos do uso de culturas iniciadoras com diferentes tipos de microrganismos cujos resultados têm se mostrado positivos no que diz respeito à qualidade sensorial de chocolates (TEJEDA; ARANGO-ANGARITA; CUERVO, 2024).

Vários microrganismos foram identificados na fermentação da polpa do cacau, embora apenas alguns estejam envolvidos ativamente, além disso, podem variar entre fermentações e entre regiões (BECKETT; FOWLER; ZIEGLER, 2017). Segundo Nigam e Singh (2014), a contagem total de microrganismos aumenta inicialmente (nas primeiras 24-36 h) e em seguida estabiliza ou decresce.

Existem vários fatores que influenciam na fermentação e podem originar cacaos com características diferentes (BATALHA, 2009; KONGOR *et al.*, 2016). São eles: população a que a planta pertence; grau de maturação do fruto; doenças do fruto; relação massa polpa/massa de semente; diferenças climáticas; composição do solo, intervalo de tempo entre a colheita e a quebra; volume do lote, regime de revolvimento e arejamento; duração da fermentação entre outros.

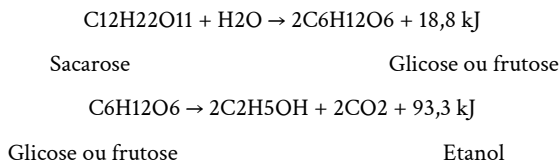
A fermentação das sementes de cacau ocorre em duas fases. A primeira, que será abordada no item 2.1, envolve reações que ocorrem na polpa e é a fermentação propriamente dita. A segunda fase, descrita no item 2.2, envolve diversas reações hidrolíticas que ocorrem

internamente (PEREIRA *et al.*, 2012) ocasionadas pela morte da semente promovida por metabólitos produzidos pelos microrganismos. Assim, a segunda fase não é propriamente um processo fermentativo, embora seja consequência deste.

Etapas da fermentação e microrganismos envolvidos

O processo fermentativo na polpa ocorre em três fases sobrepostas – alcoólica, lática e acética (BECKETT; FOWLER; ZIEGLER, 2017; NIGAM; SINGH, 2014). Alterações no pH, temperatura, teor de açúcar e produtos ou metabólitos da fermentação exercem uma pressão seletiva sobre a microbiota natural existente, favorecendo as cepas mais adaptadas a esse ambiente (PEREIRA *et al.*, 2012).

Durante as primeiras 24-36 horas de fermentação, sob condições de pH abaixo de 4 e baixo teor de oxigênio no meio, leveduras anaeróbicas presentes no meio se multiplicam, convertendo os açúcares presentes na polpa em álcool etílico e gás carbônico, na chamada fermentação alcoólica. Nessa etapa, geralmente ocorre uma leve elevação da temperatura na massa de cacau (BECKETT; FOWLER; ZIEGLER, 2017).



O ácido cítrico presente na polpa é usado no metabolismo das leveduras, o que promove aumento lento no pH do meio fermentativo (AFOAKWA, 2016). Exemplos de leveduras isoladas durante a fermentação do cacau incluem *Saccharomyces cerevisiae*, *Kluyveromyces marxianus*, *Saccharomyces exiguous*, *Candida castelli*, *Candida saitoana*, *Candida guilliermondii*, *Schizosaccharomyces pombe*, *Pichia farinosa* e *Torulopsis* spp. (SCHWAN; WHEALS, 2004).

As leveduras também podem contribuir para a produção de precursores de sabor e compostos voláteis, proporcionando sabor frutado e notas florais para produtos de cacau (CHANG *et al.*, 2025; DELGADO-OSPINA *et al.*, 2020; TIGRERO-VACA *et al.*, 2022). Por fim, leveduras também produzem enzimas pectinolíticas que degradam as paredes celulares da polpa, o que faz com que a polpa se liquefaça, liberando espaço entre as amêndoas que permite a entrada de ar.

À medida que a fermentação vai ocorrendo, a atividade das leveduras vai sendo inibida pela concentração de álcool, pelo aumento de pH e pela presença de oxigênio, favorecida pelos revolvimentos periódicos da massa de cacau que ocorrem a partir das 48h após o início da fermentação. Assim, após 48-96 horas, as condições tornam-se mais favoráveis às bactérias do ácido láctico (BAL), as quais tornam-se dominantes. *Lactobacillus fermentum*, *L. plantarum*, *Leuconostoc mesenteroides* e *Lactococcus lactis* são exemplos de bactérias isoladas de fermentações de cacau (AFOAKWA, 2016). Essas bactérias convertem açúcares e alguns ácidos orgânicos presentes na polpa em ácido láctico (CHAGAS JUNIOR *et al.*, 2021; DE MELO PEREIRA *et al.*, 2020; DEUS *et al.*, 2021). BAL homofermentativas convertem uma gama de açúcares e alguns ácidos orgânicos, como ácidos cítrico e málico a ácido láctico. Já as BAL heterofermentativas produzem além do ácido láctico, ácido acético, etanol e dióxido de carbono.

Devido ao aumento da concentração de etanol produzido pelas leveduras presentes, a elevação da temperatura e o declínio de fontes de energia, ocorre o decréscimo de bactérias lácticas a partir do terceiro dia até final do processo fermentativo (OUATTARA *et al.*, 2017; SCHWAN; WHEALS, 2004).

No final do processo (terceiro estágio), bactérias acéticas se tornam mais expressivas, quando a aeração aumenta, devido aos revolvimentos contínuos realizados, convertendo etanol em ácido acético. Esta reação é fortemente exotérmica, sendo a principal responsável pelo aumento da temperatura, que pode atingir 50 °C ou mais em algumas fermentações (BECKETT; FOWLER; ZIEGLER, 2017).

Espécies de *Acetobacter aceti* e *Acetobacter pasteurianus* foram isolados na maioria das amêndoas de cacau (SCHWAN; WHEALS, 2004), além de *Acetobacter lovaniensis*, *A. rancens*, *A. xylinum*, *Gluconobacter oxydans*, isoladas de fermentações de cacau (AFOAKWA, 2016).

Espécies de *Bacillus* podem também estar envolvidas na fermentação do cacau, como *B. subtilis*, *B. flexus* e *B. megaterium* identificadas no estudo de De Melo Pereira *et al.* (2013). Entretanto, o papel destes microrganismos na fermentação do cacau não é bem conhecido (NIELSEN *et al.*, 2007).

Transformações ocorridas durante a fermentação

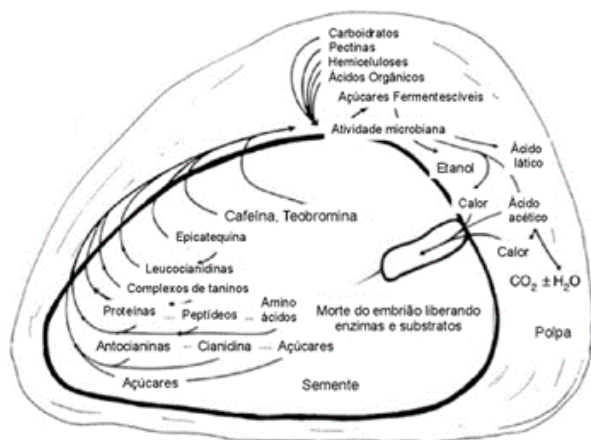
Na medida em que a casca (testa) da amêndoa permanece intacta não é possível que microrganismos atuem diretamente nos cotilédones, que estão na parte interna, e que são efetivamente usados na produção do chocolate. Então de certa forma, esta etapa não é um verdadeiro processo de fermentação (BECKETT, 2008). O que ocorre é que, durante a fermentação, a atividade microbiana no lado externo induz alterações bioquímicas e físicas no interior das sementes (NIGAM; SINGH, 2014).

Etanol e ácidos produzidos pelos microrganismos são capazes de passar através da testa, reduzindo o pH do interior e promovendo a morte da semente, que ocorre aproximadamente em três dias (BECKETT, 2008). De acordo com Batalha (2009), no aspecto fisiológico a morte é caracterizada pela perda da capacidade de germinação da semente. A partir deste momento, as sementes passam a ser denominadas “amêndoas”. Do ponto de vista bioquímico, a consequência deste processo é o rompimento das paredes e membranas celulares, o que permite que vários compostos entrem em contato uns com os outros e reajam entre si, produzindo precursores de sabor (Figura 3).

A velocidade das reações é determinada pela temperatura e nível de acidez (BECKETT; FOWLER; ZIEGLER, 2017), uma vez que a atuação de enzimas endógenas envolvidas no processo é afetada

pelas condições do meio. Quando liberadas, essas enzimas catalisam a produção de peptídeos e aminoácidos a partir de proteínas armazenadas no interior das sementes, ocasionando diversas reações responsáveis pela mudança de coloração e formação de aroma e sabor das sementes (DE VUYST; WECKX, 2016; HANSEN; DEL OLMO; BURRI, 1998; JINAP; DIMICK, 1990; NIELSEN; SNITKJAER; VAN DEN BERG, 2008).

Figura 3 – Alterações químicas e produção de precursores de aroma no interior da amêndoa de cacau durante a fermentação



Fonte: Os autores. Adaptado de Beckett (2009).

De acordo com Castro-Alayo *et al.* (2019), estudos têm mostrado que peptídeos e aminoácidos hidrofóbicos livres, como leucina, alanina, fenilalanina e tirosina, são precursores que contribuem para a formação do aroma do cacau e do chocolate. Esses aminoácidos são produzidos durante a fermentação (HASHIM *et al.*, 1998) por meio da proteólise da globulina da classe vicilina (VCG) (JANEK *et al.*, 2016; KUMARI *et al.*, 2016), que é induzida pelos ácidos acético e láctico (VOIGT *et al.*, 2016) com ação cooperativa da endoprotease aspártica

e carboxipeptidase que estão presentes nas sementes de cacau maduros e não germinadas (CASTRO-ALAYO *et al.*, 2019). Os compostos 3-metilbutanal e fenilacetaldéido (aromas mel, verde, floral) (CRA-FAKCK *et al.*, 2014) correspondem aos chamados aldeídos de degradação de Strecker, que são os produtos derivados da valina, leucina, isoleucina e fenilalanina.

A seguir são listados os componentes responsáveis pelos principais atributos relacionados ao sabor de chocolate do cacau (BECKETT; FOWLER; ZIEGLER, 2017):

- Metilxantinas (cafeína e teobrominas): conferem amargor. Durante a fermentação, seus teores reduzem em torno de 30%, possivelmente devido à difusão a partir dos cotilédones.

- Compostos fenólicos: são responsáveis pela cor, adstringência e pela atividade antioxidante. Seus níveis caem significativamente durante a fermentação e secagem. Antocianinas são rapidamente hidrolisadas em cianidinas e açúcares (catalisadas por glicosidases), o que explica a perda da cor roxa dos cotilédones.

- Polifenoloxidasas convertem os flavonóis (principalmente catequinas) em quinonas.

- Proteínas e polipeptídeos complexam com polifenóis conferindo coloração marrom típica de amêndoas de cacau fermentadas.

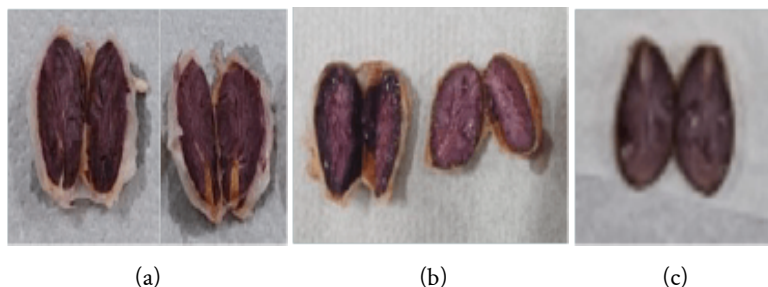
- Precursores da reação de Maillard: formados a partir da sacarose e proteínas. Sacarose é convertida pela invertase em açúcares redutores. Proteínas são hidrolisadas por peptidases em oligopeptídeos e aminoácidos.

A partir do quarto ou quinto dia de iniciado o processo fermentativo é possível observar a saída, do interior das amêndoas, de um líquido escuro, avermelhado conhecido popularmente como “sangue” ou “féu” do cacau, o que indica que a fermentação está prosseguindo corretamente (FERREIRA *et al.*, 2013).

Assim, as transformações bioquímicas ocorridas nos cotilédones promovem também alterações na aparência (Figura 4), com o surgimento de canais no interior das amêndoas, e na coloração, que

passará de violeta no início para marrom no final do processo (FERREIRA *et al.*, 2013).

Figura 4 – Sementes de cacau durante o processo fermentativo. a) Presença de polpa mucilaginosa e gérmen ainda visível; b) Amêndoas de cacau durante o processo fermentativo, gérmen pouco visível, alteração da polpa; c) amêndoas em fase final de fermentação: transformação da cor interna (para marrom) e a abertura de canais



Fonte: Os autores.

A aparência externa das sementes também sofre alterações. Inicialmente elas são rosadas e cobertas por uma mucilagem branca, mas gradualmente elas vão escurecendo e a mucilagem vai desaparecendo. No final da fermentação a mucilagem é praticamente inexistente e as amêndoas estão levemente pegajosas (NIGAM; SINGH, 2014).

As alterações físicas nas amêndoas, somadas a uma queda significativa na temperatura da massa de cacau, indica a finalização do processo fermentativo e o início da secagem. Esse é um dos momentos mais importantes da fermentação, uma vez que, passando deste ponto, o cacau pode começar a ter uma fermentação indesejada, o que gera produtos com aroma e sabor desagradáveis (FERREIRA *et al.*, 2013).

Métodos de fermentação

A maioria dos cacauzeiros é cultivada por pequenos produtores e a fermentação realizada é de forma tradicional, embora em alguns países tenham sido feitas tentativas para modernizá-la. Existem basicamente dois principais tipos de fermentação: em pilhas e em caixas (BECKETT, 2008), porém, na prática existem várias formas utilizadas em menor grau por cacauicultores de diferentes regiões no mundo.

A fermentação espontânea geralmente ocorre em casas de fermentação cobertas, para evitar a incidência de sol e, ou chuva, sendo um bioprocessamento não controlado e não industrializado (JOHN *et al.*, 2020; ROTTIERS *et al.*, 2019).

A fermentação em caixas, também conhecidas como cochos (Figura 5), é o método mais comum na América do Sul, usando-se grandes caixas de madeira com capacidade para até 1,5 toneladas, com drenos no fundo que tem basicamente duas funções: permitem que o mel de cacau escoe e o acesso ao ar. Muitas vezes essas caixas possuem laterais removíveis que permitem a transferência das amêndoas para a caixa vizinha (lateral ou abaixo). Tampas de madeira ou folhas de bananeira podem ser usadas para cobrir as caixas (NIGAM; SINGH, 2014).

Na África Ocidental, a fermentação em pilha é amplamente utilizada. Neste método, uma quantidade de 25 e 2500 kg de sementes frescas, juntamente com a polpa que a reveste, são empilhadas sobre e cobertas com folhas de bananeira. O processo, normalmente, dura de 5 a 6 dias, e o tempo de duração determinado pela experiência do produtor. Alguns produtores revolvem as amêndoas após 2 ou 3 dias. As pilhas menores normalmente produzem amêndoas de melhor sabor (BECKETT, 2008).

Figura 5 – Cochos de fermentação



Fonte: Os autores.

O método de fermentação influencia diretamente o sabor do cacau, uma vez que influencia a quantidade e o tipo de compostos formados. Por exemplo, na fermentação em caixas de madeira, as amêndoas são movimentadas diariamente o que promove uma aeração e estimula aquelas bactérias que requerem oxigênio, como bactérias acéticas, aumentando a produção de ácido acético (BECKETT, 2008). Por outro lado, nessas condições, as leveduras são inibidas pela presença de oxigênio, então menos etanol é formado. Isto significa que o cacau fermentado em caixas é mais propenso a apresentar sabor mais ácido do que aquele fermentado em pilhas. Para evitar a produção excessiva de ácidos, alguns processos de fermentação em caixas usam um tempo de fermentação menor e reduzem o número de viradas (BECKETT, 2008). No Brasil, a massa de cacau geralmente é revirada a cada 24 horas, a partir das primeiras 48 horas até o sexto

ou sétimo dia de fermentação. Esta técnica visa estimular a fermentação alcoólica no início do processo.

Secagem

Após a fermentação, as amêndoas ainda possuem muita água e ácidos que necessitam ser removidos. Assim, quando a fermentação é concluída, as amêndoas vão para a etapa de secagem, cujo principal objetivo é a remoção da água presente nas amêndoas, a fim de alcançar uma umidade abaixo de 7% (DI MATTIA *et al.*, 2017). Acima de 8% de umidade, existe o risco de desenvolvimento de fungos e abaixo de 5% a amêndoa se torna muito quebradiça (AFOAKWA, 2016).

Além da redução da umidade da amêndoa para valores que asseguram a boa conservação do produto durante o armazenamento e transporte, esse processo ainda proporciona a continuidade da fase de condensação oxidativa da fermentação (BATALHA, 2009). Ou seja, reações iniciadas na fermentação, como as reações enzimáticas que potencializam a liberação dos componentes precursores do sabor que darão às amêndoas o sabor característico de cacau e chocolate são finalizadas (AFOAKWA; PATERSON, 2010; AFOAKWA, 2012; HASEN; MAÑEZ; BURRI; BOUSBAINÉ, 2000). Essas reações ajudam a reduzir o amargor e a adstringência das amêndoas e também promovem o desenvolvimento da cor marrom típica de amêndoas bem fermentadas (AFOAKWA, 2016).

Nas áreas onde o clima é relativamente seco na época da colheita, as amêndoas são secas ao sol, espalhadas durante o dia em leitos de aproximadamente 4 cm de espessura em esteiras, bandejas ou terraços. A secagem ao sol é ecologicamente correta, de baixo custo e produz amêndoas de boa qualidade. Na África Ocidental, as amêndoas são espalhadas em qualquer superfície horizontal adequada, por exemplo, um terraço de concreto ou sobre uma lona (BECKETT; FOWLER; ZIEGLER, 2017).

Na América Central e do Sul, um método comum consiste em espalhar as amêndoas numa plataforma que possui um teto sobre rodas (barcaça) que se move para cobrir o cacau à noite e quando chove. Alternativamente, as plataformas podem ser móveis de forma que possam ser dispostas uma sobre a outra debaixo do mesmo teto para economizar espaço. Normalmente o tempo de secagem é de uma semana sob um tempo ensolarado, e o cacau, seco até um teor de água de 7-8% (BECKETT; FOWLER; ZIEGLER, 2017).

Nesse método, o mais comum no Brasil, nos horários de sol forte (das 10 às 14 h) a cobertura deve ser fechada para que o cacau fique na sombra, possibilitando uma secagem mais prolongada e eficiente, uma vez que as amêndoas são sensíveis à exposição de raios ultravioletas. Em dias chuvosos ou nublados é preciso intensificar o revolvimento das amêndoas para evitar o crescimento de fungos na massa de cacau (FERREIRA *et al.*, 2013).

A secagem ao sol (natural) apresenta como desvantagem a dependência das condições climáticas e a morosidade do processo, aumentando a probabilidade da amêndoa desenvolver fungos internos (BATALHA, 2009). Além disso, há maior risco de contaminação oriunda do próprio ambiente, bem como pelo contato de animais domésticos e selvagens (BECKETT, 2008). No entanto, as amêndoas sofrem maior acastanhamento e são menos adstringentes, pois estiveram sujeitas à ação da polifenoloxidase por mais tempo (BATALHA, 2009).

A secagem por estufas solares também pode ser uma boa alternativa para a secagem do cacau. Essas estufas possuem uma cobertura plástica (com proteção para raios ultravioletas) e laterais móveis que devem ser mantidas abertas em dias quentes para evitar o acúmulo de umidade e a condensação de ácidos voláteis que podem retornar para as amêndoas (FERREIRA *et al.*, 2013).

Em algumas situações a secagem artificial é a única alternativa tecnicamente viável. No Brasil, secadores de café podem ser utilizados.

A secagem artificial pode afetar a qualidade do cacau de duas maneiras. Primeiro, as amêndoas podem ser secas muito rapidamente (temperaturas acima de 65 °C) resultando em amêndoas muito ácidas, adstringentes e com a coloração menos amarronzada. Isto é causado pelo fato da casca ficar dura e bloquear ou aprisionar os ácidos orgânicos voláteis no interior da amêndoa e pela inibição das enzimas oxidases (BATALHA, 2009). A acidez pode ser reduzida usando temperaturas do ar mais baixas ou um período de descanso noturno para permitir que a umidade das amêndoas se equilibre. A redução na capacidade de secagem ou produção é compensada por menores custos de combustíveis, resultado de uma secagem mais eficiente (BECKETT; FOWLER; ZIEGLER, 2017).

O segundo problema, mais sério, com a secagem artificial é a possibilidade do contato da fumaça com o cacau, que pode contaminar o cacau com aroma e sabor desagradáveis, que não pode ser removido do chocolate no processamento. Embora seja relativamente fácil projetar um secador no qual a fumaça é mantida longe do cacau, na prática essa não é uma tarefa trivial, após anos de uso do equipamento. Essa é uma das razões pelas quais o cacau de determinadas áreas é menos demandado e vendido a preços inferiores (BECKETT; FOWLER; ZIEGLER, 2017).

Após a secagem, as amêndoas devem ser, então, ensacadas e estocadas em ambiente livre de umidade e insetos até serem enviadas para as indústrias processadoras.

Considerações finais

O cultivo de cacau no Brasil desempenha um papel relevante no desenvolvimento socioeconômico e ambiental, especialmente à medida que a demanda por produtos sustentáveis cresce. A colheita e as operações pós-colheita, particularmente a fermentação, são etapas fundamentais que influenciam a qualidade das amêndoas e, consequentemente,

seus produtos finais, como o chocolate. A fermentação não apenas transforma os componentes químicos das sementes, mas também é responsável pelo desenvolvimento dos sabores e aromas que tornam o chocolate apreciado mundialmente.

A crescente demanda por produtos de cacau, impulsionada pelas suas características únicas, reforça a necessidade de transformar essa cadeia em um sistema eficiente, lucrativo e sustentável. Essa transformação é vital para garantir que o cacau e seus derivados possam ser desfrutados por um número cada vez maior de consumidores, beneficiando assim todos os envolvidos, desde os consumidores até os países produtores.

Portanto, é primordial continuar investigando e aprimorando os processos de pós-colheita para produção de cacau de qualidade superior, que atenda a crescente demanda por produtos sensorialmente diferenciados.

Referências

- AFOAKWA, E. O. **Chocolate Science and Technology**. 2. ed. [S. l]: Wiley, 2016.
- AFOAKWA, E. O.; PATERSON, A. Cocoa Fermentation: Chocolate Flavor Quality. *Em: Encyclopedia of Biotechnology in Agriculture and Food*. [S. l]: CRC Press, 2010. p. 171–173.
- ASSI-CLAIR, B. J. *et al.* Effect of aroma potential of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation on the volatile profile of raw cocoa and sensory attributes of chocolate produced thereof. **European Food Research and Technology**, v. 245, n. 7, p. 1459–1471, 22 jul. 2019.
- BASTOS, V. S. *et al.* Analysis of the cocobiota and metabolites of *Moniliophthora perniciosa*-resistant *Theobroma cacao* beans during spontaneous fermentation in southern Brazil. **Journal of the**

- Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 13, p. 4963–4970, 13 out. 2018.
- BATALHA, P. G. **Caracterização do cacau catongo de São Tomé e Príncipe**. 2009. Mestrado (Mestre em Engenharia de Alimentos – Tecnologia de Produtos vegetais) – Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa – Portugal, 2009.
- BECKETT, S. **Industrial Chocolate Manufacture and Use**. [S. l.]: Wiley, 2008.
- BECKETT, S. Chocolate manufacture. **Science and Technology of Enrobed and Filled Chocolate, Confectionery and Bakery Products**, p. 11–28, 1 jan. 2009.
- BECKETT, S. T.; FOWLER, M. S.; ZIEGLER, G. R. **Beckett's Industrial Chocolate Manufacture and Use**. [S. l.]: Wiley, 2017.
- BERTAZZO, A. *et al.* The content of protein and non-protein (free and protein-bound) tryptophan in *Theobroma cacao* beans. **Food Chemistry**, v. 124, n. 1, p. 93–96, 1 jan. 2011.
- BUAINAIN, A. M.; BATALHA, M. O. **Cadeia produtiva de produtos orgânicos**. [S. l.]: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, Secretaria de Política Agrícola – SPA: Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura – IICA, 2007.
- CADONÁ, F. C. *et al.* Natural products targeting into cancer hallmarks: An update on caffeine, theobromine, and (+)-catechin. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 62, n. 26, p. 7222–7241, 12 set. 2022.
- CASTRO-ALAYO, E. M. *et al.* Formation of aromatic compounds precursors during fermentation of Criollo and Forastero cocoa. *Heliyon*, v. 5, n. 1, p. e01157, 1 jan. 2019.
- CHAGAS JUNIOR, G. C. A. *et al.* Chemical implications and time reduction of on-farm cocoa fermentation by *Saccharomyces cerevisiae* and *Pichia kudriavzevii*. *Food Chemistry*, v. 338, p. 127834, 15 fev. 2021.

- CHANG, H. *et al.* Screening and characterizing indigenous yeasts, lactic acid bacteria, and acetic acid bacteria from cocoa fermentation in Hainan for aroma Development. **Journal of Food Science**, v. 90, n. 1, 1 jan. 2025.
- CHETSCHIK, I. *et al.* Investigations on the Aroma of Cocoa Pulp (*Theobroma cacao* L.) and Its Influence on the Odor of Fermented Cocoa Beans. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 10, p. 2467–2472, 14 mar. 2018.
- CONSTANTE CATUTO, M. P. *et al.* Evaluation of stress tolerance and design of alternative culture media for the production of fermentation starter cultures in cacao. **Heliyon**, v. 10, n. 8, p. e29900, 30 abr. 2024.
- CORIA-HINOJOSA, L. M. *et al.* Exploring volatile compounds and microbial dynamics: *Kluyveromyces marxianus* and *Hanseniaspora opuntiae* reduce Forastero cocoa fermentation time. **Food Research International**, v. 193, p. 114821, out. 2024.
- CRAFACK, M. *et al.* Impact of starter cultures and fermentation techniques on the volatile aroma and sensory profile of chocolate. **Food Research International**, v. 63, p. 306–316, 1 set. 2014.
- CRUZ, J. F. M. *et al.* Bioactive compounds in different cocoa (*Theobroma cacao*, L) cultivars during fermentation. **Food Science and Technology (Brazil)**, v. 35, n. 2, p. 279–284, 31 jul. 2015.
- CRUZ, M. L. **Estudo da influência da mistura de cacau com diferentes níveis de fermentação nos teores de compostos bioativos e na atividade antioxidante dos chocolates produzidos**. 2020. Tese (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Farmácia, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2020. 96 p.
- DE MELO PEREIRA, G. V. *et al.* Spontaneous cocoa bean fermentation carried out in a novel-design stainless steel tank: Influence on the dynamics of microbial populations and physical-chemical properties. **International Journal of Food Microbiology**, v. 161, n. 2, p. 121–133, 1 fev. 2013.

- DE MELO PEREIRA, G. V. *et al.* Lactic acid bacteria: what coffee industry should know? **Current Opinion in Food Science**. Elsevier Ltd, 1 fev. 2020.
- DE VUYST, L.; WECKX, S. The cocoa bean fermentation process: from ecosystem analysis to starter culture development. **Journal of Applied Microbiology**, v. 121, n. 1, p. 5–17, jul. 2016.
- DELGADO-OSPINA, J. *et al.* Effect of fermentation, drying and roasting on biogenic amines and other biocompounds in Colombian criollo cocoa beans and shells. **Foods**, v. 9, n. 4, 1 abr. 2020.
- DEUS, V. L. *et al.* Understanding amino acids and bioactive amines changes during on-farm cocoa fermentation. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 97, p. 103776, 1 abr. 2021.
- DEWI, P. M. S. *et al.* A Short Review: Changes in the Physical-Chemical Properties of Cacao Beans During the Fermentation Process. *Em: BIO Web of Conferences*. Anais... EDP Sciences, 1 maio 2024.
- DI MATTIA, C. D. *et al.* From Cocoa to Chocolate: The Impact of Processing on In Vitro Antioxidant Activity and the Effects of Chocolate on Antioxidant Markers In Vivo. **Frontiers in Immunology**, v. 8, 29 set. 2017.
- ESCOBAR, S. *et al.* Fine cocoa beans production: Tracking aroma precursors through a comprehensive analysis of flavor attributes formation. **Food Chemistry**, v. 365, p. 130627, 15 dez. 2021.
- FERREIRA, A. C. R. *et al.* Guia de Beneficiamento de Cacau de Qualidade. *Em: Instituto Cabruca*. Ilhéus, BA: [s. n.]. p. 1–52.
- HAMDOUCHE, Y. *et al.* Impact of turning, pod storage and fermentation time on microbial ecology and volatile composition of cocoa beans. **Food Research International**, v. 119, p. 477–491, 1 maio 2019.
- HANSEN, C. E.; DEL OLMO, M.; BURRI, C. Enzyme activities in cocoa beans during fermentation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 77, n. 2, p. 273–281, jun. 1998.

- HANSEN, C. E.; MAÑEZ, A.; BURRI, C.; BOUSBAIN, A. Comparison of enzyme activities involved in flavour precursor formation in unfermented beans of different cocoa genotypes. **Journal of the Science of Food Agriculture**; 80: 1193-98. 2000.
- HASHIM, P. *et al.* Changes in free amino acid, peptide-N, sugar and pyrazine concentration during cocoa fermentation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 78, n. 4, p. 535–542, dez. 1998.
- HERNÁNDEZ, M. del P. L. *et al.* Physicochemical and microbiological dynamics of the fermentation of the CCN51 cocoa material in three maturity stages. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 41, n. 3, 2019.
- HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, C. *et al.* Bioactive compounds in Mexican genotypes of cocoa cotyledon and husk. **Food Chemistry**, v. 240, p. 831–839, 1 fev. 2018.
- HINNEH, M. *et al.* Pod storage with roasting: A tool to diversifying the flavor profiles of dark chocolates produced from ‘bulk’ cocoa beans? (part I: aroma profiling of chocolates). **Food Research International**, v. 119, p. 84–98, 1 maio 2019.
- JANEK, K. *et al.* The cleavage specificity of the aspartic protease of cocoa beans involved in the generation of the cocoa-specific aroma precursors. **Food Chemistry**, v. 211, p. 320–328, 15 nov. 2016.
- JINAP, S.; DIMICK, P. S. Acidic Characteristics of Fermented and Dried Cocoa Beans from Different Countries of Origin. **Journal of Food Science**, v. 55, n. 2, p. 547–550, 25 mar. 1990.
- JOHN, W. A., *et al.* Experimentally modelling cocoa bean fermentation reveals key factors and their influences. **Food Chemistry**, v. 302, Article 125335, 2020.
- KONGOR, J. E. *et al.* Factors influencing quality variation in cocoa (*Theobroma cacao*) bean flavour profile – A review. **Food Research International** Elsevier Ltd, 1 abr. 2016.

- KOUAMÉ, C. *et al.* Development of a model for the alcoholic fermentation of cocoa beans by a *Saccharomyces cerevisiae* strain. **International Journal of Food Microbiology**, v. 337, p. 108917, 16 jan. 2021.
- KUMARI, N.; *et al.* Biochemical fate of vicilin storage protein during fermentation and drying of cocoa beans. **Food Research International**, v. 90, p. 53-65. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.10.033>.
- LIMA, L. J. R. *et al.* *Theobroma cacao* L., “The Food of the Gods”: Quality Determinants of Commercial Cocoa Beans, with Particular Reference to the Impact of Fermentation. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 51, n. 8, p. 731–761, set. 2011.
- MOTA-GUTIERREZ, J. *et al.* Influence of Taxonomic and Functional Content of Microbial Communities on the Quality of Fermented Cocoa Pulp-Bean Mass. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 87, n. 14, 25 jun. 2021.
- NIELSEN, D. S. *et al.* The microbiology of Ghanaian cocoa fermentations analysed using culture-dependent and culture-independent methods. **International Journal of Food Microbiology**, v. 114, n. 2, p. 168–186, 10 mar. 2007.
- NIELSEN, D. S.; SNITKJAER, P.; VAN DEN BERG, F. Investigating the fermentation of cocoa by correlating Denaturing Gradient Gel Electrophoresis profiles and Near Infrared spectra. **International Journal of Food Microbiology**, v. 125, n. 2, p. 133–140, 15 jul. 2008.
- NIGAM, P. S.; SINGH, A. Cocoa and Coffee Fermentations. Em: **Encyclopedia of Food Microbiology**. [S. l]: Elsevier, 2014. p. 485–492.
- OUATTARA, H. D. *et al.* Lactic acid bacteria involved in cocoa beans fermentation from Ivory Coast: Species diversity and citrate lyase production. **International Journal of Food Microbiology**, v. 256, p. 11–19, 1 set. 2017.

- PEREIRA, G. V. de M. *et al.* Microbiological and physicochemical characterization of small-scale cocoa fermentations and screening of yeast and bacterial strains to develop a defined starter culture. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 78, n. 15, p. 5395–5405, ago. 2012.
- PEREZ, M.; LOPEZ-YERENA, A.; VALLVERDÚ-QUERALT, A. Traceability, authenticity and sustainability of cocoa and chocolate products: a challenge for the chocolate industry. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 62, n. 2, p. 475–489, 19 jan. 2022.
- ROTTIERS, H. *et al.* Dynamics of volatile compounds and flavor precursors during spontaneous fermentation of fine flavor Trinitario cocoa beans. **European Food Research and Technology**, v. 245, n. 9, p. 1917–1937, 5 set. 2019.
- SCHWAN, R. F.; WHEALS, A. E. The microbiology of cocoa fermentation and its role in chocolate quality. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 44, n. 4, p. 205–221, 2004.
- SILVEIRA, P. T. de S. *et al.* Varietal Influence on the Formation of Bioactive Amines during the Processing of Fermented Cocoa with Different Pulp Contents. **Foods**, v. 12, n. 3, p. 495, 20 jan. 2023.
- TEJEDA, J. F.; ARANGO-ANGARITA, J.; CUERVO, J. L. Impact of solar pre-drying and yeast starter inoculation treatments on volatile compounds in cocoa (*Theobroma cacao* L.) beans from Southwestern Colombia. **Applied Food Research**, v. 4, n. 2, p. 100559, 1 dez. 2024.
- TIGRERO-VACA, J. *et al.* Microbial Diversity and Contribution to the Formation of Volatile Compounds during Fine-Flavor Cacao Bean Fermentation. **Foods**, v. 11, n. 7, p. 915, 23 mar. 2022.
- VOIGT, J. *et al.* Partial purification and characterization of the peptide precursors of the cocoa-specific aroma components. **Food Chemistry**, v. 192, p. 706–713, fev. 2016.

Potencializando a conservação pós-colheita: o papel da melatonina, óxido nítrico e sulfeto de hidrogênio na extensão da vida útil das frutas

*Laura Rocha Candido • Maria Luiza Montenegro Secco •
Moises Zucoloto, Pollyanna Ibrahim Silva • Jussara Moreira Coelho*

As frutas são fundamentais para a saúde humana, fornecendo uma rica variedade de nutrientes essenciais, como fibras alimentares, compostos antioxidantes, vitaminas, minerais e outros componentes que contribuem para o bom funcionamento do organismo.

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas, com uma produção anual superior a 40 milhões de toneladas. A maior parte dessa produção é voltada para o consumo interno, e as frutas tropicais, tanto nativas quanto exóticas, predominam na fruticultura brasileira (EMBRAPA, 2025).

Contudo, as frutas *in natura* são alimentos altamente perecíveis, com uma vida útil curta, o que representa um desafio significativo para sua comercialização. Durante o armazenamento, elas sofrem diversas alterações físicas e bioquímicas, como amolecimento da polpa, perda de cor e outros aspectos que impactam diretamente sua aceitação pelos consumidores (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Essas mudanças estão relacionadas à taxa de respiração das frutas e à produção de etileno.

Durante o processo de respiração, são gerados subprodutos, como as espécies reativas de oxigênio (EROs), incluindo o radical superóxido, radicais hidroxila e peróxido de hidrogênio. Caso esses subprodutos não sejam eliminados de maneira eficiente, podem causar oxidação de lipídios, destruição das membranas celulares e danos às proteínas e ácidos nucleicos, acelerando a senescência das frutas (MA *et al.*, 2021). De acordo com Bhatla; Lal (2018), as frutas possuem um sistema antioxidante natural, composto por enzimas como catalase (CAT), peroxidase (POD), superóxido dismutase (SOD), polifenoloxidase (PPO), ascorbato peroxidase (APX) e glutatona redutase (GR). Esse sistema é eficaz na eliminação das EROs, mas sua eficiência depende da ativação dessas enzimas; quando estão inativas, as alterações metabólicas tornam-se mais evidentes.

Nos últimos anos, as pesquisas têm focado no desenvolvimento de técnicas que possam retardar essas mudanças e prolongar a vida útil das frutas, preservando sua qualidade. Entre essas abordagens, destaca-se o uso de agentes antioxidantes, que regulam a expressão de genes de enzimas responsáveis pela captura de radicais livres, como SOD, POD, CAT, PPO, APX e GR, aumentando sua atividade.

Estudos recentes indicam que moléculas de sinalização, como a melatonina (MT) (NJIE *et al.*, 2023; SATI *et al.*, 2023), o óxido nítrico (NO) (GHEYSARBIGI *et al.*, 2020) e o sulfeto de hidrogênio (H₂S) (YI *et al.*, 2024), desempenham papéis essenciais no retardo da senescência e na manutenção da qualidade das frutas após a colheita. A aplicação exógena desses compostos tem mostrado resultados promissores,

preservando tanto a qualidade física quanto a química dos frutos e prolongando sua vida útil. Este capítulo explora os conceitos e mecanismos de ação desses agentes de conservação, apresentando os resultados mais recentes sobre o tema.

Melatonina na pós-colheita

Definições

A melatonina (N-acetil-5-metoxitriptamina) é um composto derivado do aminoácido essencial triptofano, que nas plantas é convertido em triptamina pela enzima triptofano descarboxilase (TDC). Posteriormente, a triptamina 5-hidroxilase (T5H) hidroxila a triptamina no carbono C5, gerando serotonina (5-hidroxitriptamina). A serotonina, então, é convertida em melatonina por meio de uma via de N-acetilação, catalisada pela arilalquilamina N-acetiltransferase (AANAT), seguida de uma O-metilação (WANG *et al.*, 2020a).

A melatonina apresenta uma estrutura química semelhante à do ácido indol-3-acético (AIA, auxina) (MA *et al.*, 2021). Descoberta em 1995 (HATTORI *et al.*, 1995), ela tem sido identificada em diversas espécies de frutas e vegetais, como laranja, mamão, goiaba, manga, banana e abacaxi, entre outros. Pesquisas sugerem que a melatonina desempenha um papel significativo no desenvolvimento de sementes e raízes, no crescimento e amadurecimento dos frutos, na floração, na senescência e na resposta ao estresse biótico e abiótico, sendo, portanto, classificada como um hormônio vegetal (FAN *et al.*, 2022a).

Uma das principais características da melatonina é sua atividade pleiotrópica, ou seja, sua capacidade de regular a expressão de genes, o que tem despertado grande interesse entre os pesquisadores (MA *et al.*, 2021). As evidências científicas indicam que a melatonina desempenha um papel importante na pós-colheita de frutas e vegetais, contribuindo para a preservação de sua qualidade e a extensão

de sua vida útil (WANG *et al.*, 2020a). Além disso, a aplicação exógena de melatonina tem mostrado diversos benefícios, como a redução dos danos causados pelo frio (CHEN *et al.*, 2022), diminuição da incidência de doenças (FAN *et al.*, 2022b) e aprimoramento do sistema antioxidante, estabilizando as reações redox (NJIE *et al.*, 2023).

Conteúdo endógeno de melatonina nas frutas

A melatonina está presente em diversas variedades de frutas (Tabela 1), e sua quantidade pode variar de acordo com fatores como a variedade, características genéticas, estágio de maturação, condições de crescimento e estresses ambientais.

Embora seja um tema relativamente recente, alguns estudos identificaram genes relacionados à biossíntese de melatonina em frutas, sugerindo que ela é produzida internamente nos frutos e desempenha papéis essenciais tanto no crescimento e desenvolvimento quanto na defesa contra ameaças externas (WANG *et al.*, 2020a). De acordo com Mandal *et al.* (2018), a biossíntese de melatonina em melancia envolve os genes CITDC, CIT5H, CISNAT, CIASMT e CICOMT. Plantas de melancia geneticamente modificadas para expressar o gene MLTCISNAT, responsável pela biossíntese da melatonina, demonstraram maior resistência a doenças causadas por *Phytophthora capsici*, sugerindo que a melatonina tem um papel importante na defesa contra patógenos nos frutos.

Tabela 1 – Teor de melatonina em frutas tropicais

Fruta	Família	Nome científico	Parte analisada	Concentração (ng/g de peso seco)
Goiaba	Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i>	Todo	1.570±0,015
Manga	Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i>	Polpa	2.401±0,036
Melancia	Cucurbitaceae	<i>Citrullus lanatus</i>	Polpa	ND
Banana	Musaceae	<i>Musa sapientum</i>	Polpa e núcleo	1.741±0,103
Abacaxi	Bromeliaceae	<i>Ananas comosus</i>	Polpa e núcleo	1.693±0,088
Laranja	Rutaceae	<i>Citrus sinensis</i>	Polpa	1.704±0,028
Maracujá vermelho	Passifloraceae	<i>Passiflora edulis</i>	Polpa e semente	1.528±0,113
Maracujá amarelo	Passifloraceae	<i>Passiflora edulis</i>	Polpa e semente	1.744±0,140

ND representa uma quantidade que não foi detectada e os valores são apresentados em médias±desvio padrão de leituras em triplicata.

Fonte: PRANIL *et al.*, 2021, com modificações.

Aplicação exógena de melatonina em frutas após a colheita

A quantidade de melatonina endógena presente em frutas e vegetais é insuficiente para causar efeitos significativos na conservação pós-colheita. No entanto, a aplicação exógena dessa substância pode elevar seus níveis endógenos, proporcionando benefícios consideráveis para a qualidade dos frutos (Tabela 2) (XU *et al.*, 2017). Diversos

estudos têm investigado a aplicação exógena de melatonina, destacando seu potencial em prolongar a vida útil de frutas tropicais após a colheita. Essas pesquisas revelaram melhorias físico-químicas, como melhorias na cor, firmeza e concentração de antocianinas, além de retardar o declínio dessas características nas frutas analisadas (AGHDAM; Fard, 2017).

Durante o amadurecimento, ocorre o acúmulo de EROs, que aceleram o processo de maturação ao oxidar lipídios das membranas celulares, proteínas e ácidos nucleicos. Esse processo é indesejável, pois reduz a vida útil dos frutos (FAN *et al.*, 2022a; BHATLA; LAL, 2018). Para se proteger dos danos oxidativos, as frutas possuem sistemas antioxidantes eficientes, tanto enzimáticos quanto não enzimáticos, que eliminam as EROs (BHATLA; LAL, 2018). Entre as enzimas antioxidantes, destacam-se a SOD, CAT, POD, PPO, APX e GR (FAN *et al.*, 2022b). Essas enzimas são eficazes na eliminação das EROs quando estão ativas; caso contrário, o processo metabólico é acelerado, aumentando a oxidação (BHATLA; LAL, 2018). No sistema não enzimático, destacam-se compostos como o ácido ascórbico, flavonoides, antocianinas, compostos fenólicos, carotenoides, ácido desidroascórbico e glutathione (GSH) (QI *et al.*, 2018).

A aplicação exógena de melatonina retarda a senescência dos frutos ao estimular a atividade das enzimas antioxidantes e regular o conteúdo de malondialdeído (MDA), um marcador de peroxidação lipídica (WANG *et al.*, 2019). Em estudos com mamões pós-colheita, Fan *et al.* (2022b) observaram que a melatonina aumentou a atividade das enzimas SOD, CAT, GR, APX, POD e PPO, proporcionando proteção à qualidade do fruto e inibindo o desenvolvimento de patógenos. Efeitos semelhantes foram observados em outras frutas tropicais, como manga (MA *et al.*, 2021), goiaba (FAN *et al.*, 2022a) e banana (LI *et al.*, 2019). Além disso, a melatonina reduziu a produção de etileno em bananas ao regular a expressão dos genes MaACO1 e MaACS1, resultando na inibição do amadurecimento dos frutos (HU *et al.*, 2017).

A melatonina desempenha um papel crucial na proteção das frutas e no prolongamento de sua vida útil ao induzir o acúmulo de antioxidantes não enzimáticos, como ácido ascórbico, flavonoides, antocianinas, compostos fenólicos, carotenoides, ácido desidroascórbico e glutatona, funcionando como um sinalizador que regula os genes de defesa responsáveis pela produção desses compostos (QI *et al.*, 2018). A vitamina C, amplamente presente nas frutas tropicais, elimina diretamente as EROs, regulando a transcrição das enzimas antioxidantes e, assim, contribuindo para uma melhor conservação pós-colheita. Compostos fenólicos e flavonoides também impactam diretamente a qualidade dos alimentos, protegendo-os de pragas como fungos e prevenindo a propagação da peroxidação lipídica, ajudando a manter a integridade das membranas celulares por mais tempo (CAO, 2018).

Além disso, o aumento de ácidos graxos insaturados melhora a tolerância das frutas ao estresse causado por baixas temperaturas (WANG; SHI; LABORDA, 2020b). Outros estudos também indicam que a melatonina pode reduzir a fotorrespiração, preservar clorofilas e carotenoides, e induzir a biossíntese de flavonoides e antocianinas, especialmente sob condições de estresse (ARNAO; HERNÁNDEZ-RUIZ, 2019).

Tabela 2 – Efeito da melatonina na pós-colheita das frutas

Fruta	Concentração e método de aplicação	Tempo de exposição	Respostas	Referência
Goiaba	Melatonina a 600 $\mu\text{mol/L}$ (imersão)	2 h	A aplicação retardou o amolecimento das frutas e diminuiu a incidência de antracnose. Também aumentou a atividade antioxidante, tanto enzimática quanto não enzimática, proporcionando proteção contra danos oxidativos, além de inibir as enzimas lipase, lipoxygenase e fosfolipase.	Fan <i>et al</i> , 2022a
Mamão	Melatonina a 400 $\mu\text{mol/L}$ (imersão)	2 h	A aplicação retardou o amolecimento dos frutos, reduziu a incidência de antracnose e melhorou a atividade antioxidante, diminuindo lesões oxidativas. Induziu o acúmulo de fenóis, flavonoides e ácido ascórbico, além de reduzir o metabolismo lipídico.	Fan <i>et al</i> , 2022b

continua

Fruta	Concentração e método de aplicação	Tempo de exposição	Respostas	Referência
Laranja	Melatonina a 400 $\mu\text{mol/L}$ (imersão)	5 min	A melatonina diminuiu significativamente a taxa de respiração e a perda de peso, ao mesmo tempo que aumentou a firmeza, os sólidos solúveis totais, o teor de açúcar, a acidez titulável e o índice de cor. Ela inibiu as EROs e seus danos oxidativos, elevando a atividade das enzimas antioxidantes e promovendo o acúmulo de ascorbato, GSH e fenóis totais.	Ma <i>et al</i> , 2021
Manga	Melatonina a 1 mmol/L (imersão)	30 min	A melatonina aumentou os níveis de ácido ascórbico e GSH, retardando o amolecimento da fruta e mantendo sua firmeza. Ela inibiu a atividade das enzimas poligalacturonase (PG), pectina metil esterase (PME), celulase (Cx) e β -glucosidase (β -glu). Além disso, a melatonina reduziu a taxa de respiração e a perda de peso, enquanto aumentava a atividade da GR e diminuía a formação de metabólitos de EROs.	Njie <i>et al</i> , 2023

continua

Fruta	Concentração e método de aplicação	Tempo de exposição	Respostas	Referência
Pera	Melatonina a 100 $\mu\text{mol/L}$ (imersão)	2 h	Eficaz na preservação da qualidade dos pêssegos em condições de frio, retardando a respiração, reduzindo os níveis de MDA e mantendo parâmetros físico-químicos como firmeza, pH e acidez titulável. Além disso, houve aumento da atividade de enzimas específicas durante o armazenamento.	Sati <i>et al</i> , 2023
Abacaxi	Melatonina a 0,1 mmol/L (imersão)	10 min	Retardou o amadurecimento excessivo do abacaxi, reduzindo a taxa de respiração. Os frutos tratados apresentaram menores perdas de cor da casca e maior firmeza da polpa, além de menos escurecimento interno causado por danos pelo frio, em comparação com os frutos não tratados.	Guillén <i>et al</i> , 2022

continua

Fruta	Concentração e método de aplicação	Tempo de exposição	Respostas	Referência
Manga	Melatonina a 1000 $\mu\text{mol/L}$ (imersão)	10 min	Preservou a firmeza, o ácido ascórbico, os compostos fenólicos e a capacidade antioxidante durante o armazenamento, sem afetar significativamente os sólidos solúveis totais ou a acidez titulável. O tratamento controlou a atividade da PPO e aumentou a atividade das enzimas CAT e POD. No entanto, teve pouco impacto nos fatores de cor.	Rastegar; Khankahdanib; Rahimzadeg, 2020

Óxido nítrico na conservação pós-colheita

Definições

O óxido nítrico (NO) é uma biomolécula que se difunde livremente e é permeável às membranas, desempenhando um papel crucial em processos fisiológicos das plantas, desde a germinação de sementes até a floração e amadurecimento dos frutos (BHATLA; LAL, 2018).

A primeira evidência da presença de NO em sistemas biológicos foi observada em plantas (KLEPPER, 1979). Embora a existência desse gás nos tecidos vegetais seja comprovada, a compreensão sobre sua biossíntese ainda é parcial. Atualmente, sabe-se que o NO endógeno é gerado principalmente por reações enzimáticas de oxidação e redução, mediadas pelas enzimas óxido nítrico sintase (NOS) e

nitrito redutase (NR) (KARTHIK NAYAKA *et al.*, 2023). Além disso, o NO também pode ser formado por vias não enzimáticas, como a cadeia transportadora de elétrons mitocondrial, agentes antioxidantes, entre outros (KHAN *et al.*, 2023).

A aplicação exógena de NO atrasa a senescência dos órgãos vegetativos e reprodutivos ao interferir nas atividades das enzimas envolvidas na produção de etileno. Em frutas climatéricas, o NO pode modular tanto a transcrição da metionina adenosiltransferase (MAT) quanto a atividade das enzimas 1-aminociclopropano-1-carboxílico sintase (ACS) e 1-aminociclopropano-1-carboxílico oxidase (ACO) (BHATLA; LAL, 2018; KHAN *et al.*, 2023).

Além disso, o óxido nítrico é capaz de manter níveis adequados de compostos com propriedades antioxidantes, como compostos fenólicos e ácido ascórbico. Foi demonstrado também que o NO regula a expressão de genes de enzimas antioxidantes, como SOD, POD, APX, GR e CAT, ajudando a preservar a qualidade das frutas durante o armazenamento, aliviando os sintomas de lesões causadas pelo frio e contribuindo para a inibição de doenças.

Métodos de aplicação exógena e suas respostas

A aplicação exógena de NO pode ser realizada por fumigação do gás (ZHU *et al.*, 2021), pulverização (VEIGA *et al.*, 2024b) ou imersão (WANG *et al.*, 2024) em soluções que liberem NO (Tabela 3).

A fumigação de NO envolve o uso de cilindros de gás sob pressão, que são liberados diretamente sobre as frutas (LIU *et al.*, 2023). Por outro lado, as técnicas de pulverização e imersão requerem a preparação de soluções. No caso da pulverização, a solução de NO é transformada em pequenas gotículas, que são então aplicadas sobre as frutas, garantindo uma distribuição uniforme. Na imersão, as frutas são completamente submersas na solução por um período determinado (VEIGA *et al.*, 2024a).

A aplicação exógena de NO, na maioria das vezes, envolve o uso de seus doadores, como nitroprussiato de sódio (SNP), S-nitrosoglutathione (GSNO) e outros. Esses doadores são dissolvidos em água destilada neutra e, em seguida, utilizados em soluções para imersão ou pulverização das frutas (VEIGA *et al.*, 2024a).

Tabela 3 – Métodos de aplicação de NO em pós-colheita

Método de aplicação	Benefícios	Limitações	Referência
Fumigação	Taxa de absorção quase que imediata.	Pode ser convertido em dióxido de nitrogênio (NO ₂) na presença de oxigênio, que além de ser tóxico, pode ocasionar manchas escuras em frutas ou perda de coloração; Apresenta dificuldades operacionais, o que eleva o custo; Necessidade de conhecimento técnico.	Soegiarto; Wills, 2004.
Pulverização	Distribuição uniforme nas frutas; Economia de tempo.	Custo recorrente de deslocamento para o reabastecimento do tanque pulverizador.	Veiga <i>et al.</i> , 2024b.
Imersão	Baixo investimento econômico; Uniformidade de aplicação	Tempo de aplicação (para determinadas frutas).	Manjunatha <i>et al.</i> , 2010.

A resposta do óxido nítrico em cada produto hortícola depende da relação entre a concentração aplicada e o tempo de exposição. O tempo necessário para o tratamento será influenciado pela espécie vegetal, bem como pelos tecidos e órgãos em questão (FORESI *et al.*, 2010). Os efeitos, a concentração e a duração das aplicações

de tratamentos com doadores de NO em frutas estão destacados no Tabela 4.

Tabela 4 – Efeito do óxido nítrico na pós-colheita das frutas

Fruta	Concentração e método de aplicação	Tempo de exposição	Respostas	Referência
Cerejas	GSNO a 60 mmol/L (imersão)	1 min	Redução da perda de massa, produção de etileno e respiração, enquanto aumentou o conteúdo de sólidos solúveis, atividade de enzimas antioxidantes e conteúdo de ácido ascórbico.	Ma <i>et al</i> , 2019
Mirtilos	GSNO a 1 mmol/L (pulverização)	30 min	Regulação dos níveis endógenos de NO, além de controle da produção de etileno.	Grozeff <i>et al</i> , 2017
Mamão	GSNO encapsulado a 10 µmol/L – (pulverização)	15 seg	Reduziu a perda de peso e os danos oxidativos, mantendo a firmeza dos frutos.	Veiga <i>et al</i> , 2024b
Goiaba	SNP a 1,0 mmol/L (imersão)	5 min	Menor perda de peso e de clorofila, além de perda mínima de sólidos solúveis totais e acidez durante o armazenamento.	Sahu; Barman; Singh, 2020

continua

Fruta	Concentração e método de aplicação	Tempo de exposição	Respostas	Referência
Manga	SNP a 0,25 mmol/L (imersão)	20 min	Manutenção da firmeza da fruta e diminuição do índice de podridão, perda de cor da casca e a perda de peso, ao regular as atividades antioxidantes enzimáticas e não enzimáticas.	Ren <i>et al.</i> , 2017
Pera da areia	SNP a 0,002 mol/L (imersão)	10 min	Retenção de maior cor dos frutos, firmeza, teor de sólidos solúveis, acidez titulável e teor fenólico total. Além disso, também reduziu a taxa respiratória, a perda de massa, o escurecimento e as atividades das enzimas Pectinametilesterase (PME), Poligalacturonase (PG), celulase e PPO.	Adhikary <i>et al.</i> , 2021
Maçã-cera	NO a 10 µL/L (fumigação)	2h	Menor perda de peso, índice de amolecimento e perda de firmeza durante o armazenamento. Além disso, demonstrou papel regulador na biossíntese de lignina.	Hao <i>et al.</i> , 2016
Pêssego	NO a 10 µL/L (fumigação)	3h	Inibição da taxa de produção de etileno, manutenção da firmeza e aumento da atividade da sacarose fosfato sintase (SPS).	Han <i>et al.</i> , 2018

Sulfeto de hidrogênio na pós-colheita de frutas

Definições

O sulfeto de hidrogênio (H_2S) é uma pequena molécula gasosa, incolor, inflamável e com odor desagradável, que está naturalmente presente nas plantas (LI *et al.*, 2017). O H_2S é lipofílico, o que lhe confere alta mobilidade entre as membranas, e exerce suas funções de forma dependente da dose, ou seja, atua como citotoxina em altas concentrações e como sinalizador em concentrações mais baixas (SHARMA *et al.*, 2023).

Esse composto pode ser sintetizado em diferentes compartimentos celulares, incluindo o citosol, os cloroplastos e as mitocôndrias (SHARMA *et al.*, 2023). Além disso, sua alta mobilidade através das membranas vegetais permite que o H_2S seja facilmente transportado para dentro ou para fora do sistema vegetal (BHADWAL *et al.*, 2024).

A síntese do H_2S pode ocorrer por vias enzimáticas, geralmente em três compartimentos principais das células vegetais: citosol, cloroplasto e mitocôndria (SHARMA *et al.*, 2023). Um dos processos de síntese começa com a absorção de sulfato (SO_4^{2-}) pelas raízes das plantas e ocorre nos cloroplastos. No entanto, a principal via de biossíntese do H_2S é através da cisteína desulfidrase no citosol (WANG *et al.*, 2022), gerando H_2S como um subproduto da biossíntese de cisteína. Na mitocôndria, a β -cianoalanina sintase (CAS), envolvida na desintoxicação do cianeto, converte L-cisteína em H_2S (ZHAO *et al.*, 2022; SHARMA *et al.*, 2023).

Atualmente, há evidências crescentes sobre os papéis do H_2S na pós-colheita de produtos hortícolas, incluindo o atraso da senescência, controle de danos causados pelo frio e resistência a doenças (ZHAO *et al.*, 2022).

Efeitos da aplicação de H_2S em frutas

A aplicação exógena de H_2S em produtos hortícolas pode ser feita por diversos métodos, como fumigação, uso de solução com seringa ou infiltração a vácuo, e pulverização direta. Cada técnica possui suas particularidades e benefícios, sendo sempre ajustada à concentração desejada e ao tempo de exposição. Por exemplo, a fumigação permite uma absorção rápida do composto, o que exige um tempo de exposição menor do que outros métodos (SHARMA *et al.*, 2023; SIDDIQUI *et al.*, 2023).

No caso das frutas, a aplicação exógena de H_2S geralmente é realizada por meio do tratamento com seu doador, o hidrossulfeto de sódio (NaHS). Contudo, alguns estudos também indicam a aplicação direta de H_2S durante a pós-colheita das frutas (SIDDIQUI *et al.*, 2021; Dou *et al.*, 2021). Embora existam várias pesquisas sobre o uso de H_2S , assim como ocorre com o óxido nítrico (NO) e a melatonina, ainda não há uma concentração exata de H_2S definida para regular a fisiologia dos produtos hortícolas. A concentração necessária depende fortemente da matriz do produto em questão, sendo imprescindíveis testes preliminares para avaliar os benefícios obtidos (SIDDIQUI *et al.*, 2023).

Os efeitos da aplicação de H_2S (Tabela 5) estão associados ao atraso do amadurecimento, pois afeta a síntese de etileno, diminuindo sua produção (SIDDIQUI *et al.*, 2022). Além disso, o H_2S tem a capacidade de eliminar as EROs por meio das enzimas antioxidantes CAT, SOD, POD, APX e GR durante o armazenamento pós-colheita (SHARMA *et al.*, 2023). Pesquisas recentes também sugerem que o H_2S pode influenciar o acúmulo de EROs ao aumentar substâncias antioxidantes não enzimáticas, minimizando os danos causados pela peroxidação lipídica das membranas celulares, o que ajuda a retardar o amadurecimento e o envelhecimento das frutas.

Tabela 5 – Efeitos da aplicação exógena de H₂S e seus doares em frutas, assim como a concentração utilizada e tempo de exposição

Fruta	Concentração e método de aplicação	Tempo de exposição	Respostas	Referência
Lichia	H ₂ S a 2 mmol/L (infiltração a vácuo)	15 min	Promoveu maior acúmulo de ácido ascórbico e acidez titulável, menor perda de peso, conteúdo de EROs e MDA.	Siddiqui <i>et al</i> , 2021.
Cereja doce	NaHS a 1 ou 2 mmol/L (fumigação)	-	Reduziu a taxa de respiração dos frutos, manteve a firmeza ao reduzir as atividades das enzimas modificadoras da parede celular como PG e beta-galactosidase (β-Gal).	Zhi; Dong, 2018.
Kiwi	H ₂ S a 20 µL/L (infiltração a vácuo)	30 min	Inibição da degradação da parede celular, associado a manutenção da firmeza e o teor de sólidos solúveis.	Lin <i>et al</i> , 2020.
Castanhas d'água chinesas	H ₂ S a 15 µL/L (fumigação)	30 min	Preveniu o escurecimento, além de promover maior acúmulo de conteúdo fenólico total e maior atividade das enzimas antioxidantes, o que inibiu o acúmulo de EROs.	Dou <i>et al</i> , 2021.

continua

Fruta	Concentração e método de aplicação	Tempo de exposição	Respostas	Referência
Maçã	NaHS a 0,7 mmol/L (infiltração a vácuo)	24h	Redução do escurecimento de maçãs frescas cortadas por meio da regulação do sistema antioxidante.	Chen <i>et al.</i> , 2021.

Nos últimos anos, pesquisadores têm investigado o papel do H_2S no armazenamento, principalmente no que se refere à mitigação dos danos causados pelo frio (Tabela 6). Os resultados sugerem que o H_2S promoveu a tolerância ao frio ao regular o metabolismo energético, aumentando a capacidade antioxidante enzimática e não enzimática em várias frutas. No entanto, o mecanismo exato de ação dessa resposta ainda não é completamente compreendido, o que destaca a necessidade de mais pesquisas nessa área.

Tabela 6 – Efeitos do H_2S e seus doares no armazenamento e efeitos sobre o frio

Fruta	Temperatura e tempo de armazenamento	Fonte de H_2S	Efeito no controle de CI	Referência
Espinheiro	1°C por 90 dias	NaHS	Melhora da lesão por frio pelo aumento da atividade das enzimas SOD, CAT e APX, acompanhado de maior acúmulo de ácido ascórbico.	Aghdam <i>et al.</i> , 2018.

continua

Fruta	Temperatura e tempo de armazenamento	Fonte de H ₂ S	Efeito no controle de CI	Referência
Pêssego	0,5 °C por 30 dias	NaHS	Mediação de níveis endógenos de H ₂ S, NO e NADPH para harmonizar a homeostase redox de EROs, mitigando assim a deterioração da qualidade induzida por injúria pelo frio.	Zhao <i>et al</i> , 2023
Banana	7 °C por 14 dias	NaHS	Alivia a injúria com base no aprimoramento do sistema antioxidante, inibindo o acúmulo de EROs.	Luo <i>et al</i> , 2015
Pêssego	5 °C por 49 dias	H ₂ S	Atenuou a injúria por meio da regulação do metabolismo endógeno do H ₂ S, sistema antioxidante e metabolismo da parede celular.	Wang <i>et al</i> , 2022.
Jujuba	25 °C por 14 dias	H ₂ S e NaHS	O H ₂ S pode inibir o acúmulo de EROs e a atividade dos produtos de peroxidação lipídica . Além disso, aumentou as atividades das enzimas antioxidantes CAT, SOD, APX e POD.	LV <i>et al</i> , 2022.

continua

Fruta	Temperatura e tempo de armazenamento	Fonte de H ₂ S	Efeito no controle de CI	Referência
Morango de polpa branca	22 °C por 48h	NaHS	O NaHS promoveu o acúmulo de H ₂ S endógeno, assim como inibiu EROs, resultando em um atraso no amadurecimento dos frutos e maior qualidade durante o armazenamento.	Sun <i>et al.</i> , 2023.

Considerações finais

Os dados e informações coletados evidenciam a eficácia da aplicação exógena de melatonina, óxido nítrico e sulfeto de hidrogênio na preservação da integridade físico-química das frutas, mantendo características essenciais como a cor da polpa, da casca, a firmeza e a composição química. Além disso, esses compostos desempenham um papel crucial na regulação do processo respiratório dos frutos, prevenindo a formação de EROs através da interação com os sistemas antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos presentes nas frutas.

O uso de melatonina, óxido nítrico e sulfeto de hidrogênio na preservação de frutas apresenta potencial de inovação na cadeia de pós-colheita, visto que oferece alternativas eficazes para manutenção não apenas das características físico-químicas essenciais, como também impactam na conservação de alimentos e diminuição de desperdício.

Referências

- ADHIKARY, T.; GILL, P. P. S.; JAWANDHA, S. K.; BHARDWAJ, R. D.; ANURAG, R. K. Efficacy of postharvest sodium nitroprusside application to extend storability by regulating physico-chemical quality of pear fruit. **Food Chemistry**, v. 346, Article ID 128934, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128934>.
- AGHDAM, M. S.; FARD, J. R. Melatonin treatment attenuates postharvest decay and maintains nutritional quality of strawberry fruits (*Fragaria × anannasa* cv. Selva) by enhancing GABA shunt activity. **Food Chemistry**, v. 221, p. 1650–1657, 2017. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.10.123.
- AGHDAM, M. S.; MAHMOUDI, R.; RAZAVI, F.; RABIEI, V.; SOLEIMANI, A. Hydrogen sulfide treatment confers chilling tolerance in hawthorn fruit during cold storage by triggering endogenous H₂S accumulation, enhancing antioxidant enzymes activity and promoting phenols accumulation. **Scientia Horticulturae**, v. 238, p. 264–271, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.063>.
- ARNAO, M. B.; HERNÁNDEZ-RUIZ, J. Melatonin: a new plant hormone and/or a plant master regulator? **Trends in Plant Science**, v. 24, n. 1, p. 38–48, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.10.010>.
- BHADWAL, S. S.; VERMA, S.; HASSAN, S.; KAUR, S. Unraveling the potential of hydrogen sulfide as a signaling molecule for plant development and environmental stress responses: A state-of-the-art review. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 212, Article ID 108730, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108730>.
- BHATLA, S. C.; LAL, M. A. **Plant physiology, development and metabolism**. Springer Singapore, 2018. 1237 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-981-13-2023-1>.

- [folio%252Ffruticultura-tropical%26_82_languageId%3Den_US&_82_languageId=en_US](#). Acesso em: 03 fev. 2025.
- FAN, S.; LI, Q.; FENG, S.; LEI, Q.; ABBAS, F.; YAO, Y.; CHEN, W.; LI, X.; ZHU, X. Melatonin maintains fruit quality and reduces anthracnose in postharvest papaya via enhancement of antioxidants and inhibition of pathogen development. **Antioxidants**, v. 11, 804, 2022b. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox11050804>.
- FAN, S.; XIONG, T.; LEI, Q.; TAN, Q.; CAI, J.; SONG, Z.; YANG, M.; CHEN, W.; LI, X.; ZHU, X. Melatonin treatment improves postharvest preservation and resistance of guava fruit (*Psidium guajava* L.). **Foods**, v. 11, n. 3, n. 262, 2022a. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11030262>.
- FORESI, N.; CORREA-ARAGUNDE, N.; PARISI, G.; CALÓ, G.; SALERNO, G.; LAMATTINA, L. Characterization of a nitric oxide synthase from the plant kingdom: NO generation from the green alga *Ostreococcus tauri* is light irradiance and growth phase dependent. **The Plant Cell**, v. 22, n. 11, p. 3816–3830, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1105/tpc.109.073510>.
- GE, Y.; HU, K-D.; WANG, S-S.; HU, L-Y.; CHEN, X-Y.; LI, Y-H.; YANG, Y.; YANG, F.; ZHANG, H. Hydrogen sulfide alleviates postharvest ripening and senescence of banana by antagonizing the effect of ethylene. **PLOS One**, v. 13, n. 1, Article ID e0191351, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180113>.
- GHEYSARBIGI, S.; MIRDEHGHAN, S. H.; GHASEMNEZHAD, M.; NAZOORI, F. The inhibitory effect of nitric oxide on enzymatic browning reactions of in-package fresh pistachios (*Pistacia vera* L.). **Postharvest Biology and Technology**, v. 159, Article ID 110998, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.110998>.
- GROZEFF, G. E. G.; ALEGRE, M. L.; SENN, M. E.; CHAVES, A. R.; SIMONTACCHI, M.; BARTOLI, C. G. Combination of nitric oxide and 1-MCP on postharvest life of the blueberry (*Vaccinium* spp.) fruit. **Postharvest Biology**

- and Technology**, v. 33, p. 72–80, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.06.012>.
- GUILLÉN, F.; MEDINA-SANTAMARINA, J.; GARCÍA-PASTOR, M. E.; CHEN, N. J.; URUU, G.; PAULL, R. E. Postharvest melatonin treatment delays senescence and increases chilling tolerance in pineapple. **LWT**, v. 169, Article ID 113989, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113989>.
- HAN, S.; CAI, H.; AN, X.; HUAN, C.; WU, X.; JIANG, L.; YU, M.; MA, R.; YU, Z. Effect of nitric oxide on sugar metabolism in peach fruit (cv. Xiahui 6) during cold storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 142, p. 72–80, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.04.008>.
- HAO, Y.; CHEN, F.; WU, G.; GAO, W. Impact of postharvest nitric oxide treatment on lignin biosynthesis-related genes in wax apple (*Syzygium samarangense*) fruit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 64, n. 45, p. 8483–8490, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.6b03281>.
- HATTORI, A.; MIGITAKA, H.; LIGO, M.; ITOH, M.; YAMAMOTO, K.; OHTANI-KANEKO, R.; HARA, M.; SUZUKI, T.; REITER, R. J. Identification of melatonin in plants and its effects on plasma melatonin levels and binding to melatonin receptors in vertebrates. **Biochemistry and Molecular Biology International**, v. 35, n. 3, p. 627–634, 1995.
- HU, W.; YANG, H.; TIE, W.; YAN, Y.; DING, Z.; LIU, Y.; WU, C.; WANG, J.; REITER, R. J.; TAN, D-X.; SHI, H.; XU, B.; JIN, Z. Natural variation in banana varieties highlights the role of melatonin in postharvest ripening and quality. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, n. 46, p. 9987–9994, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b03354>.
- KARTHIK NAYAKA, V. S.; SACHIN, A. J.; ANAND, A.; REDDY, S. V. R.; NASIM, A.; SHRIVASTAVA, D. C.; SIDDIQUI, M. W. Nitric Oxide: A Key Modulator of Postharvest Fruit and Vegetable Physiology. *In*: AFTAB, T.; CORPAS, F. J. (eds)

- Gasotransmitters Signaling in Plants under Challenging Environment**, vol 5. Springer, 2023. p. 175-191. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-43029-9>.
- KHAN, M.; ALI, S.; AZZAWI, T. N. I. A.; YUN, B-W. Nitric oxide acts as a key signaling molecule in plant development under stressful conditions. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 5, p. 4782, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms24054782>.
- KLEPPER, L. Emissions of nitric oxide NO and nitrogen dioxide NO₂ from herbicide-treated soybean plants. **Atmospheric Environment**, v. 13, p. 537–542, 1979. DOI: [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(79\)90148-3](https://doi.org/10.1016/0004-6981(79)90148-3).
- LI, S.; XU, Y.; BI, Y.; ZHANG, B.; SHEN, S.; JIANG, T.; ZHENG, X. Melatonin treatment inhibits gray mold and induces disease resistance in cherry tomato fruit during postharvest. **Postharvest Biology and Technology**, v. 157, Article ID 110962, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.110962>.
- LI, T-T.; LI, Z-R.; HU, K-D.; HU, L-Y.; CHEN, X-Y.; LI, Y-H.; YANG, Y.; YANG, F.; ZHANG, H. Hydrogen sulfide alleviates kiwifruit ripening and senescence by antagonizing effect of ethylene. **HortScience**, v. 52, n. 11, p. 1556-1562, 2017. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI12261-17>.
- LIN, X.; YANG, R.; DOU, Y.; ZHANG, W.; DU, H.; ZHU, L.; CHEN, J. Transcriptome analysis reveals delaying of the ripening and cell-wall degradation of kiwifruit by hydrogen sulfide. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 100, n. 5, p. 2280-2287, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.10260>.
- LIU, Y.; CHEN, T.; TAO, N.; YAN, T.; WANG, Q.; LI, Q. O óxido nítrico é essencial para manter a qualidade pós-colheita de frutas e vegetais. **Horticulturae**, v. 9, n. 2, p. 135, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9020135>.
- LUO, Z.; LI, D.; DU, R.; MOU, W. Hydrogen sulfide alleviates chilling injury of banana fruit by enhanced antioxidant system and

- proline content. **Scientia Horticulturae**, v. 183, p. 144-151, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.12.021>.
- LV, Y-M.; ELNUR, E.; WANG, W.; THAKUR, K.; DU, J.; LI, H-N.; MA, W-P.; LIU, Y-Q.; NI, Z-J.; WEI, Z-J. Hydrogen sulfide treatment increases the antioxidant capacity of fresh Lingwu Long Jujube (*Ziziphus jujuba* cv. Mill) fruit during storage. **Current Research in Food Science**, v. 5, p. 949-957, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.05.010>.
- MA, Q.; LIN, X.; WEI, Q.; YANG, X.; ZHANG, Y. Melatonin treatment delays postharvest senescence and maintains the organoleptic quality of 'Newhall' navel orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) by inhibiting respiration and enhancing antioxidant capacity. **Scientia Horticulturae**, v. 286, Article ID 110236, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110236>.
- MA, Y.; FU, L.; HUSSAIN, Z.; HUANG, D.; ZHU, S. Enhancement of storability and antioxidant systems of sweet cherry fruit by nitric oxide-releasing chitosan nanoparticles (GSNO-CS NPs). **Food Chemistry**, v. 285, p. 10-21, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.156>.
- MANDAL, M. K.; SUREN, H.; WARD, B.; BROUJERDI, A.; KOU-SIK, C. Differential roles of melatonin in plant-host resistance and pathogen suppression in cucurbits. **Journal of Pineal Research**, v. 65, n. 3, Article ID 12505, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpi.12505>.
- MANJUNATHA, G.; LOKESH, V.; NEELWARNE, B. Nitric oxide in fruit ripening: Trends and opportunities. **Biotechnology Advances**, v. 28, n. 4, p. 489-499, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.03.001>.
- NJIE, A.; DONG, X.; LIU, Q.; LU, C.; PAN, X.; ZHANG, W. Melatonin treatment inhibits mango fruit (Cv.'Guiqi') softening by maintaining cell wall and reactive oxygen metabolisms during cold storage. **Postharvest Biology and Technology**,

- v. 205, Article ID 112500, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112500>.
- PRANIL, T.; MOONGNGARM, A.; MANWIWATTANAKUL, G.; LOYPIMAI, P.; KERR, W. L. Melatonin and its derivative contents in tropical fruits and fruit tablets. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 103, Article ID 104109, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104109>.
- QI, Z-Y.; WANG, K-X.; YAN, M-Y.; KANWAR, M. K.; LI, D-Y.; WIJAYA, L.; ALYEMENI, M. N.; AHMAD, P.; ZHOU, J. Melatonin alleviates high temperature-induced pollen abortion in *Solanum lycopersicum*. **Molecules**, v. 23, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules23020386>.
- RASTEGAR, S.; KHANKAHDANI, H. H.; RAHIMZADEH, M. Effects of melatonin treatment on the biochemical changes and antioxidant enzyme activity of mango fruit during storage. **Scientia Horticulturae**, v. 259, Article ID 108835, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scientia.2019.108835>.
- REN, Y.; HUE, J.; LIU, H.; LIU, G.; REN, X. Nitric oxide alleviates deterioration and preserves antioxidant properties in ‘Tainong’ mango fruit during ripening. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v. 58, p. 27-37, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13580-017-0001-z>.
- SAHU, S. K.; BARMAN, K.; SINGH, A. K. Nitric oxide application for postharvest quality retention of guava fruits. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 42, n. 156, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11738-020-03143-8>.
- SATI, H.; BHARDWAJ, R.; FAWOLE, O. A.; PAREEK, S. Postharvest Melatonin Application Preserves Quality and Imparts Chilling Tolerance in Peaches. **Journal of Food Biochemistry**, v. 2023, Article ID 8126640, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1155/2023/8126640>.
- SHARMA, N.; KUMAR, D.; KHANNA, K.; PARIHAR, R. D.; KOUR, S.; BHARDWAJ, R.; OHRI, P. Interaction of Hydrogen Sulfide

- with Phytohormones During Plant Physiological and Stress Conditions. In: **Gasotransmitters Signaling in Plants under Challenging Environment**, vol 5. Springer, 2023, p. 193-220. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-43029-9>.
- SIDDIQUI, M. W.; DESHI, V.; HOMA, F.; AFTAB, M. A.; AFTAB, T. Inhibitory effects of hydrogen sulfide on oxidative damage and pericarp browning in harvested litchi. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 40, p. 2560-2569, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10300-x>.
- SIDDIQUI, M. W.; DESHI, V.; IRFAN, M.; KUMAR, V.; HOMA, F.; MIR, H.; SINGH, D. R. Hydrogen sulfide: Promising applications for postharvest quality improvement of fruit and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, v. 202, Article ID 112394, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112394>.
- SIDDIQUI, M. W.; HOMA, F.; LATA, D.; MIR, H.; AFTAB, T.; MISHRA, P. Hydrogen sulphide infiltration downregulates oxidative metabolism and extends postharvest life of banana. **Plant Biology**, v. 24, n. 4, p. 697-703, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/plb.13362>.
- SOEGIARTO, L.; WILLIS, R. Short-term fumigation with nitric oxide gas in air to extend the postharvest life of broccoli, green bean, and bok choy. **HortTechnology**, v. 14, p. 538-540, 2004. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.14.4.0538>.
- SUN, M.; YANG, T.; QIAO, X.-H.; ZHAO, P.; ZHU, Z.-P.; SU, K.-Y.; SUN, C.-W.; XIE, Z.-B.; ZHANG, S.-S.; XU, M.; XU, L.-L.; XIONG, A.-S. Hydrogen sulfide delays postharvest ripening of white fleshed strawberry by regulating phytohormone accumulation and ROS generation. **Postharvest Biology and Technology**, v. 205, Article ID 112536, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112536>.
- VEIGA, J. C.; SILVEIRA, N. M.; SEABRA, A. B.; BRON, I. U. Exploring the power of nitric oxide and nanotechnology for prolonging postharvest shelf-life and enhancing fruit quality. **Nitric**

- Oxide**, v. 142, p. 26–37, 2024a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.niox.2023.11.002>.
- VEIGA, J. C.; SILVEIRA, N. M.; SEABRA, A. B.; PIERETTI, J. C.; BOZA, Y.; JACOMINO, A. P.; FILHO, J. C. Z.; CAMPAGNOLU, V. P.; CIA, P.; BRON, I. U. Spraying with encapsulated nitric oxide donor reduces weight loss and oxidative damage in papaya fruit. **Nitric Oxide**, v. 150, p. 37–46, 2024b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.niox.2024.07.004>.
- WANG, D.; ZHANG, H.; MENG, L.; TAN, X.; LIU, R.; GAO, Q.; WU, Y.; ZHU, Y.; REN, X.; LI, Y.; KONG, Q. Exogenous Nitric Oxide Induces Pathogenicity of *Alternaria alternata* on Huangguan Pear Fruit by Regulating Reactive Oxygen Species Metabolism and Cell Wall Modification. **Journal of Fungi**, v. 10, n. 10, p. 726, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/jof10100726>.
- WANG, F.; ZHANG, X.; YANG, Q.; ZHAO, Q. Exogenous melatonin delays postharvest fruit senescence and maintains the quality of sweet cherries. **Food Chemistry**, v. 301, Article ID 125311, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125311>.
- WANG, L.; CHEN, S.; SHAO, J.; ZHANG, C.; MEI, L.; WANG, K.; JIN, P.; ZHENG, Y. Hydrogen sulfide alleviates chilling injury in peach fruit by maintaining cell structure integrity via regulating endogenous H₂S, antioxidant and cell wall metabolisms. **Food Chemistry**, v. 391, Article ID 133283, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133283>.
- WANG, S-Y.; SHI, X-C.; LABORDA, P. Indole-based melatonin analogues: Synthetic approaches and biological activity. **European Journal of Medicinal Chemistry**, v. 185, Article ID 111847, 2020b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2019.111847>.
- WANG, S-Y.; SHI, X-C.; WANG, R.; WANG, H-L.; LIU, F.; LABORDA, P. Melatonin in fruit production and postharvest preservation: A review. **Food Chemistry**, v. 320, Article ID 126642, 2020a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126642>.

- XU, L.; YUE, Q.; BIAN, F.; SUN, H., ZHAI, H., YAO, Y. Melatonin enhances phenolics accumulation partially via ethylene signaling and resulted in high antioxidant capacity in grape berries. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, Article ID 1426, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01426>.
- YI, B.; LIU, Y.; W, Z.,; ZHENG, Y.; CHEN, H.; JIN, P. Hydrogen sulfide alleviates chilling injury of zucchini fruit by regulating antioxidant capacity, endogenous hydrogen sulfide, proline, and polyamine metabolism. **Postharvest Biology and Technology**, v. 208, Article ID 112638, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112638>.
- ZHAO, Y.; ZHAO, L.; HU, S.; HOU, Y.; WANG, J.; ZHENG, Y.; JIN, P. Hydrogen sulfide-induced chilling resistance in peach fruit is performed via sustaining the homeostasis of ROS and RNS. **Food Chemistry**, v. 398, Article ID 133940, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133940>.
- ZHAO, Y-Q.; ZHAO, L-Y.; HU, S-Q.; HOU, Y-Y.; ZHENG, Y-H.; JIN, P. Hydrogen sulfide: a luminous future in the postharvest preservation of fruits and vegetables. **Food Materials Research**, v. 2, Article number 3, p. 1-11, 2022. DOI: <https://doi.org/10.48130/FMR-2022-0003>.
- ZHI, H.; DONG, Y. Effect of hydrogen sulfide on surface pitting and related cell wall metabolism in sweet cherry during cold storage. **Journal of Applied Botany and Food Quality**, v. 91, p. 109-113, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2018.091.015>.
- ZHU, L.; YANG, R.; SUN, Y.; ZHANG, F.; DU, H.; ZHANG, W.; WAN, C., CHEN, J. Nitric oxide maintains postharvest quality of navel orange fruit by reducing postharvest rotting during cold storage and enhancing antioxidant activity. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 113, Article ID 101589, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2020.101589>.

Biofortificação: saudabilidade e sustentabilidade

Marisa da Silva Corrêa • Ana Paula Ribeiro Gaspar •

Cíntia Tomaz Sant’Ana • Mariana Grancieri •

Neuza Maria Brunoro Costa

A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, adotada pelas Nações Unidas em 2015, estabeleceu os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que são um chamado urgente para a ação de todos os países – desenvolvidos e em desenvolvimento – em uma parceria global. Eles reconhecem que acabar com a pobreza e outras privações deve andar de mãos dadas com estratégias que melhorem a saúde e a educação, reduzam a desigualdade e estimulem o crescimento econômico, enfrentando as mudanças climáticas para preservar o meio ambiente. O Objetivo 2 consiste em “acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável”, valorizando a agricultura familiar local (UN, 2016). Embora a fome e a desnutrição persistam em diversas regiões do planeta, outros desafios se somam para o enfrentamento da segurança alimentar e nutricional, como a obesidade e os impactos dos

extremos climáticos, que afetam a produção e distribuição de alimentos e juntos constituem a Sindemia Global.

A Sindemia Global é o conjunto das três pandemias: da obesidade, da subnutrição e das mudanças climáticas que afetam a maioria das pessoas em todos os países e regiões do mundo. Os fatores comuns da obesidade, da subnutrição e das mudanças climáticas indicam que muitas intervenções em nível de sistemas devem ser tomadas para mudar a trajetória de todas as três pandemias simultaneamente (SWINBURN *et al.*, 2019). Estratégias para reduzir a Sindemia Global devem enfatizar as oportunidades de ganho-ganha para a população e a saúde planetária por meio de mudanças alimentares e adoção de hábitos saudáveis de alimentação, utilizando-se de dietas sustentáveis. As dietas sustentáveis devem abordar múltiplas preocupações ambientais e harmonizar isso com as dimensões socioculturais e de equidade (LEYDON *et al.*, 2023).

Os sistemas alimentares simultaneamente contribuem e sofrem intensamente com as alterações climáticas e a degradação ambiental. As mudanças climáticas impactam a composição e a disponibilidade de nutrientes de certos alimentos, levando a mudanças na qualidade nutricional (SPARLING *et al.*, 2024). Ainda, impactam na fertilidade do solo e no rendimento das culturas, composição e biodisponibilidade de nutrientes nos alimentos, resistência a pragas e risco de desnutrição. Por exemplo, níveis elevados de dióxido de carbono podem diminuir o conteúdo de proteínas e minerais, como cálcio, ferro e zinco, alterando o valor nutricional dos alimentos, bem como os rendimentos e a qualidade das colheitas, o que pode agravar o quadro das populações que sofrem pela deficiência proteica e de micronutrientes (OWINO *et al.*, 2022).

A deficiência de micronutrientes (vitaminas e minerais), conhecida como “Fome Oculta” afeta milhares de pessoas no planeta e pode coexistir com a desnutrição e com a obesidade. A deficiência de ferro afeta mais de 1,2 bilhões de pessoas no mundo e a projeção é de chegar a mais de 1,4 bilhões em 2025, particularmente mulheres de crianças

de até 5 anos de idade (WANG et al, 2024). A deficiência de vitamina A, iodo e outros micronutrientes afeta particularmente crianças e gestantes nos países com menor poder aquisitivo, sendo metade das mortes de crianças abaixo de 5 anos de idade relacionadas à má nutrição. Cerca de 150 milhões de crianças abaixo de 5 anos sofre de desnutrição, enquanto quase 40 milhões têm obesidade ou sobrepeso. Em adultos, a obesidade atinge cerca de 390 milhões de pessoas e o sobrepeso, mais de 2,5 bilhões ao redor do mundo (WHO, 2024). Esse cenário requer ações sustentáveis, que possam garantir a segurança e a soberania alimentar no planeta.

Um sistema alimentar sustentável é um sistema alimentar que fornece segurança alimentar e nutrição para todos de tal forma que as bases econômicas, sociais e ambientais para gerar segurança alimentar e nutrição para as gerações futuras não sejam comprometidas. Tal sistema compreende a sustentabilidade econômica (lucrativo), sustentabilidade social (benefícios amplos para a sociedade); e sustentabilidade ambiental (impacto positivo ou neutro no ambiente natural). Os sistemas alimentares sustentáveis, portanto, têm o potencial de garantir a disponibilidade, acessibilidade, preço acessível e demanda por alimentos seguros e nutritivos produzidos e consumidos de maneiras que protejam e restaurem o ambiente natural. Ainda, o sistema alimentar sustentável está no cerne dos ODS das Nações Unidas, exigindo grandes transformações na agricultura e nos sistemas alimentares para acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhorar a nutrição até 2030 (FAO, 2018).

Alimentos diversificados devem ser cultivados ou criados, práticas agrícolas devem melhorar a biodiversidade, proteger o solo, a floresta e a água, minimizar a contaminação química de pessoas e alimentos, sustentar os ecossistemas a longo prazo e reduzir o aquecimento global (LAIRON, 2012). Intervenções como a biofortificação (ou seja, aumento do teor de micronutrientes das culturas por seleção genética), fortificação (adição de micronutrientes aos alimentos industrializados) e, como último recurso, suplementação (fornecimento de

formas farmacêuticas e concentradas de micronutrientes), levaram a melhorias significativas na saúde da população (OLSON *et al.*, 2021).

Produzir mais alimentos com melhor qualidade nutricional, o que é viável, deve ser priorizado em programas de melhoramento de culturas. Neste sentido, a biofortificação é um aliado no enfrentamento da Sindemia Global. A biofortificação se refere ao desenvolvimento de cultivares densas em micronutrientes por meio de cruzamento ou engenharia genética (DWIVEDI, *et al.*, 2023).

Biofortificação

A biofortificação consiste no desenvolvimento de cultivos básicos ricos em micronutrientes utilizando ferramentas de melhoramento genético de plantas (biofortificação genética) e de manejo (biofortificação agrônômica) (BOUIS *et al.*, 2017). O principal objetivo é reduzir a carência de micronutrientes que afeta milhares de pessoas no mundo, principalmente aquelas com menor poder aquisitivo. Ademais, apresenta como foco a biofortificação de culturas básicas, comumente consumidas pela população, visando não alterar o padrão de consumo usual, o que significa que agricultores e consumidores não têm que mudar seus hábitos alimentares para se beneficiar da biofortificação (SHARMA *et al.*, 2017).

No Brasil o programa de biofortificação de alimentos iniciou-se em 2003, e é desenvolvido pela BioFORT, coordenado pela Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA) e conta com o suporte do programa HarvestPlus (EMBRAPA, 2024). O programa HarvestPlus foi lançado com o apoio da Fundação Bill & Melinda Gates e do Banco Mundial, e faz parte do CGIAR (Consultative Group on International Agricultural Research), que envolve diversos cientistas de agricultura e nutrição ao redor do mundo, bem como institutos nacionais de pesquisa agrícola (BOUIS *et al.*, 2017). HarvestPlus lidera um movimento global para aumentar rapidamente a produção

e o consumo de alimentos e culturas básicas biofortificadas, capacitando e empoderando outros a incorporar de forma sustentável a biofortificação em sistemas alimentares para melhorar a nutrição de forma equitativa e econômica para as populações mais vulneráveis em países de baixa e média renda (DOUTHWAITE *et al.*, 2023).

A biofortificação no Brasil se concentra em três micronutrientes que apresentam grande grau de deficiência e que impacta na saúde de populações, sendo estes o ferro, zinco e vitamina A. Atualmente oito diferentes culturas são alvos da biofortificação no Brasil: arroz, abóbora, mandioca, trigo, batata-doce, feijão, feijão-caupi e milho. Algumas culturas biofortificadas têm como foco principal sua aplicação nas regiões norte e nordeste do Brasil, devido ao fato de serem regiões mais pobres e com maior incidência de carências nutricionais (EMBRAPA, 2004).

O objetivo final da estratégia de biofortificação é reduzir as taxas de mortalidade e morbidade relacionadas à desnutrição por micronutrientes e aumentar a segurança alimentar, a produtividade e a qualidade de vida das populações carentes dos países em desenvolvimento por meio do cultivo de culturas básicas que forneçam, a baixo custo, níveis melhorados de micronutrientes biodisponíveis de forma sustentável ao longo do tempo (KHUSH *et al.*, 2012).

Algumas vantagens do processo de biofortificação são o baixo custo, poder ser adaptado especificamente às necessidades dietéticas de populações locais, levando em consideração os nutrientes que faltam em sua dieta, apresentar um amplo alcance e poder ser utilizada em muitos cultivos diferentes (OFORI *et al.*, 2022). A principal vantagem da biofortificação de alimentos é que uma vez implementado, a biofortificação torna-se um sistema altamente sustentável. O investimento maior é necessário apenas no estágio de pesquisa e desenvolvimento, e depois disso as culturas nutricionalmente aprimoradas são inteiramente sustentáveis (MEENAKSHI *et al.*, 2010). A biofortificação provavelmente será mais útil a longo prazo do que outras intervenções porque remove obstáculos como a dependência

de infraestrutura e conformidade. As variedades nutricionalmente melhoradas continuarão a ser cultivadas e consumidas ano após ano, necessitando de monitoramento a fim de garantir essas características nas culturas, contudo esses custos recorrentes são baixos (BIROL *et al.*, 2014).

A biofortificação faz sentido como parte de um enfoque que considere um sistema alimentar integrado para reduzir a desnutrição. A biofortificação ataca a raiz do problema da desnutrição, tem como alvo a população mais necessitada, utiliza mecanismos de distribuição já existentes, é cientificamente viável e efetiva em termos de custos, além de complementar outras intervenções em andamento para o controle da deficiência de micronutrientes. Assim, a biofortificação é, em suma, um primeiro passo essencial que possibilitará que famílias carentes melhorem, de uma maneira sustentável, sua nutrição e saúde (SALTZMAN *et al.*, 2013).

Para o sucesso da biofortificação, alguns parâmetros são considerados, como a cultura biofortificada ser de alto rendimento e lucrativa para o agricultor, as culturas devem ser aceitáveis tanto para os agricultores como para os consumidores nas regiões-alvo onde as pessoas são afetadas pela subnutrição de micronutrientes, os nutrientes não devem ser perdidos após a colheita da cultura e os nutrientes devem ser absorvidos e utilizados pelo organismo (JOHNSON *et al.*, 2017).

A biofortificação é uma estratégia que está em constante melhoramento, desenvolvimento e implantação e, portanto, trabalhos de pesquisa contínuo e investimentos são necessários. A biofortificação não deve ser considerada como um método único e suficiente para combater a deficiência de micronutrientes, sendo uma tecnologia social complementar a outras estratégias, como suplementação e fortificação. Contudo, diante de todos os aspectos positivos, a biofortificação tem sido considerada uma importante ferramenta no combate à fome oculta e a desnutrição.

Alimentos biofortificados

As deficiências nutricionais de micronutrientes são prevalentes em países em desenvolvimento, e se tornam um agravante do estado de saúde global. O processo de biofortificação é visto como uma técnica de abordagem sustentável para redução de deficiências nutricionais, que é um grande problema de saúde pública no Brasil e em todo mundo (ALPHONSE; RAMALINGAM, 2019).

Os avanços em sequenciamento e tecnologia genética estão acelerando, e o processo de biofortificação de culturas progrediu significativamente nas últimas décadas. No ano de 2013, a HarvestPlus associada a colaboradores, abrangeram um crescente avanço no enriquecimento de culturas básicas como arroz, feijão, trigo, milho, batata doce, biofortificados com micronutrientes essenciais (Zn, Fe, selênio, provitamina A) por meio de melhoramento de plantas convencionais. A biofortificação pode ser adaptada às necessidades nutricionais de populações locais, e um grande marco da biofortificação foi com o milho proteico, entregando o dobro da quantidade dos aminoácidos essenciais, como lisina e triptofano. Entretanto, outras culturas básicas de alimentos biofortificados foram produzidas como o trigo com ferro e zinco, milho e arroz com ferro e zinco, leguminosas biofortificadas com ferro e zinco, batata doce, mandioca e banana com nutrientes com provitamina A (FOLEY *et al.*, 2021).

No fim do ano de 2019 mais de 242 variedades de culturas biofortificadas foram produzidas e lançadas em 30 países. Com o avanço das pesquisas, foi demonstrada a eficácia dos cultivares. As evidências revelam que os alimentos biofortificados foram capazes de melhorar a ingestão de micronutrientes, o estado nutricional, e o estado de saúde geral associados às deficiências de vitamina A, ferro e zinco (LEE, 2017). O consumo diário de alimentos biofortificados é capaz de atingir de 25% a 100% das Necessidades Médias Estimadas (EAR) de vitamina A, ferro ou zinco que são micronutrientes essenciais

para a saúde, cuja deficiência abrange grupos de crianças de 1-6 anos e mulheres em idade reprodutiva de 15-49 anos (KOLAPO, 2023).

O processo da biofortificação em todo o mundo traz o destaque para alguns alimentos que tiveram sucesso em alguns países, como o feijão rico em ferro na Índia que foi desenvolvido para reduzir a anemia das comunidades locais, a batata doce de polpa laranja produzida em Moçambique, devido à alta prevalência da deficiência de vitamina A, por ser muito comum na região especialmente entre crianças, e para combater essa deficiência, a biofortificação foi bem-sucedida, e a produção e consumo de batata-doce de polpa laranja aumentou nas regiões locais. O consumo melhorou a resposta pupilar, a prevalência e a duração dos episódios de diarreia em mulheres e crianças respectivamente (JONES; BRAUW, 2015). Na região do Quênia, onde a deficiência de ferro é um problema comum, o programa HarvestPlus introduziu o feijão e o milho biofortificado, com alto teor de ferro e outros nutrientes como vitamina A e zinco. A estratégia foi bem-sucedida, ajudou a melhorar os níveis de ferro nas comunidades locais, além de melhorar a função cognitiva de adolescentes (SCOTT *et al.*, 2018)

A cultura do trigo biofortificado com zinco reduziu a morbidade materna e infantil em alguns países. No entanto, para combater a deficiência de zinco que é um problema muito comum na região rural da Índia, também foi utilizado como estratégia de biofortificação o cultivar transgênico de arroz dourado, com alto teor de zinco, o seu consumo ajudou a reduzir a deficiência na região, e, além disso, melhorou a produtividade agrícola e as receitas dos agricultores (ISLAM *et al.*, 2013). Na região da Uganda na África utilizou-se a estratégia de biofortificação com a banana dourada que foi desenvolvida para combater a deficiência de vitamina A, em virtude de ser a deficiência que mata cerca de 750 mil crianças no mundo. O projeto foi desenvolvido por pesquisadores da Universidade de Tecnologia de Queensland (QUT) na Austrália, partindo de uma

modificação genética para o enriquecimento com vitamina A (beta-caroteno) (RONNER *et al.*, 2023).

O Brasil está incluído entre os países que estão desenvolvendo culturas de alimentos biofortificados, com intuito de combater a fome oculta, a desnutrição e reforçando a soberania alimentar e nutricional de locais deficientes, por meio de melhoramento convencional. A Rede BioFort e colaboradores como a Embrapa e a Universidade Federal do Espírito Santo estão envolvidos no desenvolvimento e estudo dessas culturas, que são pensadas para regiões com alta prevalência de deficiência de micronutrientes, como na região norte e nordeste, onde é produzido o feijão-caupi biofortificado com ferro e zinco (EMBRAPA, 2024). Até o momento, 14 cultivares já foram desenvolvidas como a mandioca, feijão, feijão-caupi, soja, sorgo, arroz, batata-doce e milho, a partir de melhoramento convencional e tendem a resultar em variedades com melhor produtividade, além de serem bons nutricionalmente. Ademais, apresentam características de interesse para o agricultor, como alto rendimento, resistência a pragas, tolerância a estresse (MONIKA *et al.*, 2023).

Desde modo, é importante reforçar o quanto a alimentação saudável, segura e sustentável impacta na saúde global, e que os alimentos biofortificados apresentam impactos significativos na saúde da população, agindo desde o campo a mesa do consumidor. Como parceira da Embrapa e outras instituições brasileiras e estrangeiras, nosso grupo de pesquisa vem realizando estudos sobre as propriedades nutricionais e potencial funcional de alimentos biofortificados ao longo de 20 anos, particularmente com a biodisponibilidade de ferro de cultivares de feijão-caupi. Alguns desses estudos serão abordados a seguir.

Feijão-caupi

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma leguminosa de grande importância para a segurança alimentar e nutricional,

especialmente em regiões onde a desnutrição e as mudanças climáticas comprometem a produção agrícola (MEKONNEN *et al.*, 2022). Originário da África e introduzido no Brasil no século XVI, o feijão-caupi é amplamente consumido nas regiões Norte e Nordeste do país, e seu consumo tem se expandido para o Centro-Oeste (FREIRE FILHO *et al.*, 2011).

Além de sua relevância socioeconômica nessas regiões do Nordeste brasileiro, esta leguminosa destaca-se por seu alto valor nutricional. É uma excelente fonte de proteínas, carboidratos, vitaminas, minerais e fibras alimentares, além de apresentar baixos teores de lipídios. O feijão-caupi possui propriedades benéficas à saúde, incluindo efeitos antidiabéticos, anticancerígenos, anti-hiperlipidêmicos, anti-inflamatórios e anti-hipertensivos, atribuídos à presença de fibras, fitoquímicos, proteínas e peptídeos (JAYATHILAKE *et al.*, 2018; MARTINS *et al.*, 2023).

Em 2006, o feijão-caupi foi incluído em projetos de biofortificação no Brasil, visando aumentar o teor de ferro nos grãos (NUTTI, 2011). A Embrapa tem desenvolvido cultivares biofortificadas, como o BRS Aracê, BRS Tumucumaque e BRS Xiquexique, que apresentam altas concentrações de ferro e proteína, com potencial para reduzir quadros anêmicos, além de contribuir para a diminuição da desnutrição e insegurança alimentar (ROCHA *et al.*, 2014). Em regiões propensas a desnutrição e sujeitas a condições climáticas adversas, como a seca, o cultivo do feijão-caupi se torna um recurso não apenas nutricional, mas também como recurso de valor econômico e social, alinhado a sustentabilidade (MEKONNEN *et al.*, 2022). Estudos indicam que os grãos biofortificados possuem concentrações de ferro superiores a 60 mg/kg e teores de proteínas próximos de 30g/100g (Tabela 1).

Tabela 1 – Composição nutricional e biodisponibilidade dos cultivares de feijão-caupi

Autor	Feijão-caupi	Fe (mg/kg)	RBV	HRE (%)	Proteínas (g/100g)	Fibras alimentares (g/100g)		AR (g/100g)	Fitato (g/100g)	Fenólicos totais (mgGAE/g feijão)	Fi:Fe
						Solúveis	Insolúveis				
Gaspar (2024)	Pajéú	48,61	93,00	47,55	24,42	5,82	17,41	3,85	1,03	77,44	17,97
	Aracê	68,21	104,80	53,67	27,92	1,47	19,91	2,52	1,01	51,01	12,48
	Tumucumaque	67,17	93,55	47,75	26,07	2,03	22,65	3,26	1,03	54,99	12,90
Medeiros <i>et al.</i> (2024)	Pajéú	68,67	98,08	48,16	24,16	5,85	30,22	7,43	0,97	112,83	11,95
	Aracê	64,51	94,09	46,20	25,43	1,65	23,40	4,74	0,66	25,33	8,64
	Tumucumaque	68,15	128,14	62,92	23,67	2,18	20,52	3,42	0,89	23,25	11,00
Corrêa <i>et al.</i> (2020)	Xiquezique	65,08	107,41	52,74	23,29	1,80	23,32	5,06	0,97	32,00	12,66
	Guariba	66,70	0,28	55,33	30,05	3,32	32,38	n.d.	1,82	1,01	22,87
	Aracê	57,80	0,24	47,81	27,86	4,74	18,62	n.d.	1,79	0,91	26,36
Antunes <i>et al.</i> (2019)	Tumucumaque	63,50	0,25	47,71	27,64	25,57	17,48	n.d.	1,80	1,02	23,96
	Xiquezique	66,90	0,30	56,84	24,96	7,45	18,24	n.d.	1,75	1,09	22,00
	Nova Era	43,83	112,83	57,57	24,80	2,96	15,13	n.d.	0,21	0,04*	4,11
Sant' Ana <i>et al.</i> (2019)	Aracê	52,41	122,03	62,26	28,64	5,43	19,91	n.d.	0,29	1,42*	4,73
	Nova Era	47,17	80,60	49,07	24,75	2,62	15,44	n.d.	0,21	1,31	3,76
	Tumucumaque	69,58	76,75	46,72	28,15	3,48	14,05	n.d.	0,29	1,55	3,46

Fe: ferro. RBV: Valor Biológico Relativo. HRE: Hemoglobin Regeneration Efficiency. AR: amido resistente. Fi:Fe: razão molar

Fitato:Ferro. N.d.: não calculado. *mg ácido gálico/100g.

Fonte: Elaborada pelos autores

Além de ser rico em ferro, o feijão-caupi é uma excelente fonte de proteínas vegetais, o que contribui para ajudar a cumprir os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), com a utilização de novas fontes proteicas sustentáveis (LOUSHIGAM; SHANMUGAM, 2023). As proteínas do feijão-caupi são altamente versáteis, e além dos benefícios à saúde, como redução da incidência do aumento de doenças cardiovasculares, elas também apresentam potencial de uso na indústria alimentícia (SILVA *et al.*, 2021). A crescente demanda por proteínas, aliada ao estresse ambiental e à deficiência proteica, reforça a necessidade de alternativas sustentáveis, como as proteínas vegetais que além de serem uma opção acessível, constituem uma fonte de alta qualidade nutricional que pode complementar as proteínas de origem animal, que são mais caras e têm maior impacto ambiental (ADHIKARI *et al.*, 2022; SHEN; HONG; LI, 2022; ZHU *et al.*, 2024). Diante desse contexto, o feijão-caupi pode ser uma excelente alternativa na indústria alimentícia, associando seu alto teor de ferro e proteínas, com um perfil de aminoácidos de alta qualidade e ótimos atributos funcionais (LOUSHIGAM; SHANMUGAM, 2023; MUNE; MINKA, 2017; SILVA *et al.*, 2021).

Contudo, apesar do Brasil ser um grande produtor de feijão, o uso de proteínas derivadas de leguminosas ainda é limitado, com o mercado sendo dominado pela soja, mas há uma tendência de diversificação (LIMA *et al.*, 2023; ZHU *et al.*, 2024). Na literatura científica, no entanto, o feijão-caupi, se destaca pelos seus efeitos fisiológicos benéficos à saúde. A exemplo, as proteínas do feijão-caupi estão relacionadas à redução de doenças cardiovasculares e alguns tipos de câncer (SILVA *et al.*, 2021). LIYANAGE *et al.* (2018), com as cultivares Bombay e MI35, demonstraram efeito hipercolesterolemizante, modulação da capacidade antioxidante sérica, do metabolismo do colesterol e a fermentação cecal em ratos Wistar alimentados com dieta rica em gordura. Estudo realizado com a suplementação de quatro cultivares de feijão-caupi (Bombay, Waruni, Dawalae MI 35) por seis semanas em dietas de ratos Wistar, resultaram em menor LDL-c,

triglicérides e aumento do HDL-c (PERERA *et al.*, 2016). ALASHI; WU E ALUKO (2021) ao estudarem o isolado proteico do feijão-caupi em ratos Sprague-Dawley observaram eficiência na prevenção do aumento do colesterol total. GOMES *et al.* (2022), ao usar as culturas BRS Pajeú, BRS Aracê, BRS Imponente e BRS Xiquexique na melhoria morfologia intestinal, inflamação e da microbiota intestinal. Ademais, os feijões-caupi também podem inibir a produção de óxido nítrico (NO), protegendo contra danos oxidativos ao DNA e às células, aliviando, assim, condições relacionadas ao estresse oxidativo (APEA-BAH *et al.*, 2021). Ressalta-se a partir dos dados da Tabela 1, que todas as cultivares de feijão-caupi, biofortificados ou não, apresentam-se com boa biodisponibilidade de ferro, visto que o RBV está próximo de 100 e % HRE são próximos (GASPAR, 2024). O consumo de feijão-caupi poderia contribuir para o consumo de fenólicos, visto esses compostos podem contribuir positivamente nos efeitos hipoglicemiantes, redução da inflamação, da resistência à insulina e preservação a função das células β -beta, corroborando seu potencial funcional (FARIAS *et al.*, 2021). Com isso, a cultura multifuncional do feijão-caupi biofortificado pode ser estratégica para manter a saúde e reduzir patologias humanas (MEKONNEN *et al.*, 2022).

Em suma, o feijão-caupi biofortificado apresenta um grande potencial para enfrentar os desafios relacionados à insegurança alimentar e à desnutrição, especialmente em regiões mais vulneráveis, como o Norte e Nordeste do Brasil e outras áreas propensas à desnutrição em todo o mundo. Além de seu valor nutricional e econômico, esta leguminosa se destaca por ser uma cultura resiliente às mudanças climáticas e por sua influência benéfica na saúde. O desenvolvimento de variedades biofortificadas, especialmente com maior teor de ferro, é uma estratégia promissora para combater deficiências nutricionais como a anemia ferropriva, contribuindo simultaneamente para uma dieta mais equilibrada e sustentável. Investir em pesquisas sobre o feijão-caupi e promover sua inclusão em programas de segurança alimentar pode ser uma oportunidade crucial para

mitigar a fome, melhorar a saúde humana e avançar na direção de um sistema alimentar mais sustentável, com menor custo e inclusivo.

Considerações finais

A biofortificação é estratégia eficaz e promissora para aumentar o conteúdo de micronutrientes de culturas alimentares básicas, visando a redução da carga de deficiências de micronutrientes em países de baixa e média renda. Esta estratégia vem sendo reconhecida mundialmente como uma abordagem eficaz entre vários tipos de intervenções que são necessárias para reduzir deficiências de minerais e vitaminas. Além dos benefícios nutricionais, a biofortificação vem ao encontro de promover cultivos sustentáveis, respeitando a cultura alimentar local e meio-ambiente sendo, portanto, eficaz no combate a síndrome global e contribuir na saúde e qualidade de vida da população.

Referências

- ADHIKARY, T.; SCHOP, M.; BOER, I. J. M.; HUPPERTZ, T. Protein Quality in Perspective: A Review of Protein Quality Metrics and Their Applications. **Nutrients**, v. 14, n. 5, p. 947, 2022.
- ALASHI, A. M.; WU, H.; ALUKO, R. E. In digestible cowpea proteins reduced plasma cholesterol after long-term oral administration to Sprague-Dawley rats. **Food Production, Processing and Nutrition**, v. 3, n. 16, 2021.
- ALPHONSE, V.; RAMALINGAM, R. Preservation of Micronutrients in Biofortified Foods. **Encyclopedia of Food Security and Sustainability**, v. 2, p. 523-529, 2019.
- ANTUNES, P. T. *et al.* Bioavailability of iron and the influence of Vitamin A in biofortified foods. **Agronomy**, v. 9, n. 12, 2019.

- APEA-BAH, F. B.; JUNE, C. S.; MEGAN, J. B.; KWAKU, G. D.; TRUST, B. Effect of simulated *in vitro* upper gut digestion of processed cowpea beans on phenolic composition, antioxidant properties and cellular protection. **Food Research International**, v. 150, 2021.
- BIROL, E.; ASARE-MARFO, D.; FIELDLER, J.; HA, B.; LIVIDINI, K. Cost-effectiveness of biofortification. **Biofortification Progress Briefs #25**. HarvestPlus, Washington, DC, 2014.
- BOUIS, H. E.; SALTZMAN, A. Improving nutrition through biofortification: a review of evidence from HarvestPlus, 2003 through 2016. **Global Food Security**, v. 12, p. 49-58, 2017.
- CORRÊA, S. R.; BRIGIDE, P.; VAZ-TOSTES, M. G.; COSTA, N. M. B. Cultivars of biofortified cowpea and sweet potato: Bioavailability of iron and interaction with vitamin A in vivo and *in vitro*. **Journal of Food Science**, v. 85, n. 3, p. 816–823, 2020.
- DOUTHWAITE, B.; JOHNSON, N.; WYATT, A. Using outcome trajectory evaluation to assess HarvestPlus contribution to the development of national biofortification breeding programs. **The European Journal of Development Research**, v. 35, p. 426-251, 2023.
- DWIVEDI, S. L.; GARCIA-OLIVEIRA, A. L.; GOVINDARAJ, M.; ORTIZ, R. Biofortification to avoid malnutrition in humans in a changing climate: enhancing micronutrient bioavailability in seed, tuber, and storage roots. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1-24, 2023.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuarias. **Rede BioFORT**. Disponível em <https://www.embrapa.br/biofort>. Acessado em 10 de outubro de 2024.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Sustainable food systems: concept and framework**, 2018.
- FARIAS, D. P.; ARAÚJO, F. F.; NERI-NUMA, I. A.; PASTORE, G. M. Antidiabetic potential of dietary polyphenols: A mechanistic review. **Food Research International**, v. 145, 2021.

- FOLEY, J. K.; MICHAUX, K. D.; MUDYAHOTO, B; KYAZIKE, L.; CHERIAN, B.; KALEJAIYE, O.; IFEOMA, O.; ILONA, P. L.; REINBERG, C.; MAVINDIDZE, D, BOY, E .Scaling Up Delivery of Biofortified Staple Food Crops Globally: Paths to Nourishing Millions. **Food and Nutrition Bulletin** v. 42, n. 1, p. 116-132, 2021.
- FREIRE FILHO, F. R. *et al.* **Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios: introdução**. 1. ed. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011.
- GASPAR, A. P. R. **Efeito dos feijões-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) biofortificados na biodisponibilidade de ferro e no metabolismo glicídico e lipídico de ratos anêmicos alimentados com dieta rica em gordura e açúcar**. 2024. 111 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) — Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2024.
- GOMES, M. J. C. *et al.* Zinc Biofortified Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) Soluble Extracts Modulate Assessed Cecal Bacterial Population sand Gut Morphology *In Vivo* (*Gallus gallus*). **Frontiers in Bioscience**, v. 27, n. 5, 2022.
- ISLAM, M. M.; WOODHOUSE, L. R.; HOSSAIN, M. B.; AHMED, T.; HUDA, N. M.; AHMED, T.; PEERSON, J. M.; HOTZ, C.; BROWN, K. H. Total Zinc Absorption from a Diet Containing either Conventional Rice or Higher-Zinc Rice Does Not Differ among Bangladeshi Preschool Children. **The Journal of Nutrition, Community and International Nutrition**, v. 143, n. 4, p. 519-525, 2013.
- JAYATHILAKE, C. *et al.* Cowpea: an overview on its nutritional facts and health benefits. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v. 98, n. 13, p. 4793–4806, 2018.
- JOHNSON, N. D.; ASARE-MARFO, M.; ZELLER, M.; BIROL, E. Building the case for biofortification: measuring and maximizing impact in the HarvestPlus program. **African Journal of**

- Food, Agriculture and Nutrition Development**, v. 17, n. 2, p. 12078-12091.
- JONES, K. M; DE BRAUW, A. Using agriculture to improve child health: promoting orange sweet potatoes reduces diarrhea. **World Development**, v. 74, p. 15–24. 2015.
- KHUSH, G. S.; LEE, S.; CHO, J.; JEON, J-S. Biofortification of crops for reducing malnutrition. **Plant Biotechnology Reports**, v. 6, n. 3, p. 195-202, 2012.
- KOLAPO, A. Heterogeneous preferences and market potentials for biofortified foods insub-Saharan Africa: Evidence from Nigeria. **Future Foods**, v. 8, n. 100278, 2023.
- LAIRON, D. Biodiversity and sustainable nutrition with a food-based approach. *In*: FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Sustainable diets and biodiversity**. Roma, 2012. 309 p.
- LEE, H. Transgenic Pro-Vitamin A Biofortified Crops for Improving Vitamin A Deficiency and Their Challenges. **The Open Agriculture Journal**. v. 11, p. 11-23, 2017.
- LEYDON, C. L.; LEONARD, U. M.; MCCARTHY, S. N.; HARRINGTON, J. M. Aligning environmental sustainability, health outcomes, and affordability in diet quality: a systematic review. **Advances in Nutrition**, v. 14, n. 6, p. 1270-0 1296, 2023.
- LIMA, J. R. *et al.* **Obtenção de concentrado proteico de feijão-carioca**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2023. 5 p.
- LIYANAGE, R. *et al.* Boiled, sprouted, and raw cowpea-incorporated diets modulate high-fat diet-induced hypercholesterolemia in rats. **Food Science and Nutrition**, n. 6, p. 1762–1769, 2018.
- LOUSHIGAM, G.; SHANMUGAM, A. Modifications to functional and biological properties of proteins of cowpea pulse crop by ultrasound-assisted extraction by ultrasound-assisted extraction. **Ultra sonics Sono chemistry**, v. 97, n. 106448, 2023.

- MAINS, M. P. S. C. *et al.* Characterization of cowpea cultivars for grain size, color, and biofortification. **Revista Caatinga**, v. 36, n. 1, p. 207–214, 2023.
- MEDEIROS, L. S. S.; GRANCIERI, M., SANT'ANA, C. T., SANTIAGO, M. C. P. A, da SILVA, L. B., GLAHN, R. P., COSTA, N. M. B. The lower content of mineral-complexing compounds favored the *in vitro* and *in vivo* iron bioavailability of biofortified cowpeas. **Journal of Functional Foods**, v. 123, p. 106601, 2024.
- MEENAKSHI, J. V. N.; JOHNSON, V.; MANYONG, H.; DE GROOTE, J.; JAVELOSA, D.; YANGGEN, F.; NAHER, C.; GONZALEZ, J. G.; MENG, E. How cost-effective is biofortification in combating micronutrient malnutrition? An *Ex Ante* Assessment. **World Development**, v. 38, n. 1, p. 64-75, 2010.
- MEKONNEN, T. W.; GERRANO, A. S.; MBUMA, N. W.; LABUSCHAGNE, M. T. Breeding of Vegetable Cowpea for Nutrition and Climate Resilience in Sub-Saharan Africa: Progress, Opportunities, and Challenges. **Plants**, v. 11, n. 12, 2022.
- MONIKA, G.; KIM, S. R. M; KUMAR, S. P.; GAYATHRI, K. V.; RANGASAMY, G.; SARAVANAN, A. Biofortification: A long-term solution to improve global health- a review. **Chemosphere**, v. 314, n. 137713, 2023.
- MUNE, M. A. M.; MINKA, S. R. Production and characterization of cowpea protein hydrolysate with optimum nitrogen solubility by enzymatic hydrolysis using pepsin. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v. 97, n. 8, p. 2561–2568, 2017.
- NUTTI, M. R. **A história dos projetos HarvestPlus, AgroSalud E Bio**. Reunião de Biofortificação. 4., 2011. Teresina: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2011. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/54482/1/2011-133.pdf>. Acesso em: 30/09/2024.
- OFORI, K. F.; ANTONIELLO, S.; ENGLISH, M. M.; ARYEE, A. N. A. Improving nutrition through biofortification – s systematic review. **Frontiers in Nutrition**. n. 9, 2022.

- OLSON, R., GAVIN-SMITH, B., FERRABOSCHI, C., KRAEMER, K. Food fortification: the advantages, disadvantages and lessons from Sight and Life programs. **Nutrients**, v. 13, n. 4, p. 1118, 2021.
- OWINO, V.; KUMWENDA, C.; EKESA, B.; PARKER, M. E; EWOLDT, L.; ROOS, N.; LEE, W. T.; TOME, D. The impact of climate change on food systems, diet quality, nutrition, and health outcomes: a narrative review. **Frontiers in Climate**, n. 4, p. 1-10, 2022.
- PERERA, O. S. *et al.* Modulationg effect sof cowpea incorporated diets on serum lipids and serum antioxidant activity in Wistar rats. **Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka**, v. 44, n. 1, p. 69–76, 2016.
- ROCHA, M. M.; ALMEIDA, M. J. O.; DAMASCENO E SILVA, K. J.; NEVES, A. C. **BioFort: saúde na mesa do brasileiro: biofortificação do feijão-caupi**. Brasília: Embrapa, 2014.
- RONNER, E. A; VAN DE VEN, G. J. A; NOWAKUNDA, K. B, J. TUGUMISIRIZE C, J. KAYIITA D; G. TAULYA, E; G. UCKERT F, K. K. E. DESCHEEMAER, A. Agricultural Systems. What future for banana-based farming systems in Uganda? A participatory scenario analysis. **Agricultural Systems**. v. 209, n. 103669, 2023.
- SALTZMAN, A.; BIROL, E.; BOUIS, E.; BOY, E.; DE MOURA, F. F.; ISLAM, Y.; PFEIFFER, W. H. Biofortification: progress toward a more nourishing future. **Global Food Security**, n. 2, p. 9-17, 2013.
- SANT'ANA, C. T.; ANTUNES, P. T.; REIS, T. C.; VÁZ-TOSTES, M. G.; MEIRA, E. F.; COSTA, N. M. B. Bioaccessibility and bioavailability of iron in biofortified germinated cowpea. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 14, p. 6287- 6295, 2019.
- SCOTT, S. P; MURRAY-KOLB, L. E; WENGER, M. J *et al.* Cognitive performance in Indian school-going adolescents is positively

- affected by consumption of iron-biofortified pearl millet: a 6-month randomized controlled efficacy trial. **The Journal of Nutrition**, v. 148, n. 9, p. 1462–1471, 2018.
- SHARMA, P.; AGGARWAL, P.; KAUR, A. Biofortification: a new approach to eradicate hidden hunger. **Food Reviews International**, v. 33, n. 1, p. 1-21, 2017.
- SHEN, Y.; HONG, S.; LI, Y. Chapter Three – Pea protein composition, functionality, modification, and food applications: A review. In: WU, J. **Advances in Food and Nutrition Research**. 1. ed. Z. Kruze. v. 101, p. 71 – 127, 2022.
- SILVA, A. C. *et al.* Health Benefits and Industrial Application of Functional Cowpea Seed Proteins. In: JIMENEZ-LOPEZ, J. C. **Grain and Seed Proteins Functionality**. 1. ed. Rijeka: IntechOpen, 2021.
- SILVA, L. M. **Composição nutricional e índice glicêmico de feijões caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) alvos para a biofortificação**. 2022. 53 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2022.
- SPARLING, T. M.; OFFNER, C.; DEENEY, M.; DENTON, P.; BASH, K.; JUEL, R.; MOORE, S.; KADIYALA, S. Intersections of climate change with food systems, nutrition, and health: an overview and evidence map. **Advances in Nutrition**, n. 15, p. 1-14, 2024.
- SWINBURN, B. A.; KRAAK, V. I.; ALLENDER, S.; ATKINS, V. J.; BAKER, P. I. *et al.* The global syndemic of obesity, undernutrition, and climate change: The Lancet Commission report. **The Lancet**, n. 393, p. 791-846, 2019.
- UN – United Nations. **The sustainable development goals report 2016**. United Nations Publications, New York, 2016. 54 p.
- WANG, L.; LIANG, D.; HUANGFU, H.; SHI, X.; LIU, S.; ZHONG, P.; LUO, Z.; KE, C.; LAI, Y. Iron deficiency: global trends and projections from 1990 to 2050. **Nutrients**, v. 16, n. 3434, 2024.

WHO – World Health Organization. **Malnutrition**. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/malnutrition>? Acesso em 28/10/2024.

ZHU, X. *et al*. Pulse Protein Isolates as Competitive Food Ingredients: Origin, Composition, Functionalities, and the State-of-the-Art Manufacturing. **Foods**, v. 13, n. 1, 2024.

Aspectos funcionais do café verde e sua utilização pela indústria de alimentos

*Thalia Gomes da Silva • Maria Luiza Montenegro Secco •
André Gustavo Vasconcelos Costa • Pollyanna Ibrahim Silva*

O café é uma das bebidas mais consumidas no mundo e possui grande relevância econômica e social, especialmente em países tropicais. O Brasil é o maior produtor e exportador global, responsável por cerca de 34% da produção mundial (MAPA, 2023; OIC, 2022). Entre as espécies cultivadas, destacam-se *Coffea arabica* (café arábica) e *Coffea canephora* (café conilon), que apresentam diferenças em sua composição química, as quais irão refletir na funcionalidade e na aplicação industrial.

O café conilon, adaptado a climas mais quentes, é reconhecido por sua maior resistência a pragas e doenças, além de apresentar um sabor mais amargo e pungente. Em contrapartida, o café arábica, destaca-se pelo sabor adocicado e pelas notas aromáticas suaves. Essas diferenças sensoriais refletem não apenas nas preferências de consumo, mas também na composição química, incluindo a concentração de compostos bioativos como cafeína e ácidos clorogênicos, que

desempenham papéis importantes tanto em aplicações industriais, gastronômicas e no organismo humano (PINHEIRO *et al.*, 2020).

Um ponto de crescente interesse científico e comercial é a comparação entre os grãos de café em seus estados verde (maduro e cru) e torrado. O processo de torrefação, essencial para desenvolver o sabor e o aroma do café tradicionalmente consumido, também resulta em alterações significativas na composição química, como a degradação de antioxidantes naturais. Por outro lado, o café verde, em seu estado não torrado, preserva compostos bioativos que têm sido associados a potenciais benefícios à saúde, como atividades antioxidantes, anti-inflamatórias e metabólicas. Desse modo, o café verde pode ser aplicado em múltiplas áreas como alimentos funcionais, cosméticos e suplementos alimentares (MUÑOZ *et al.*, 2020).

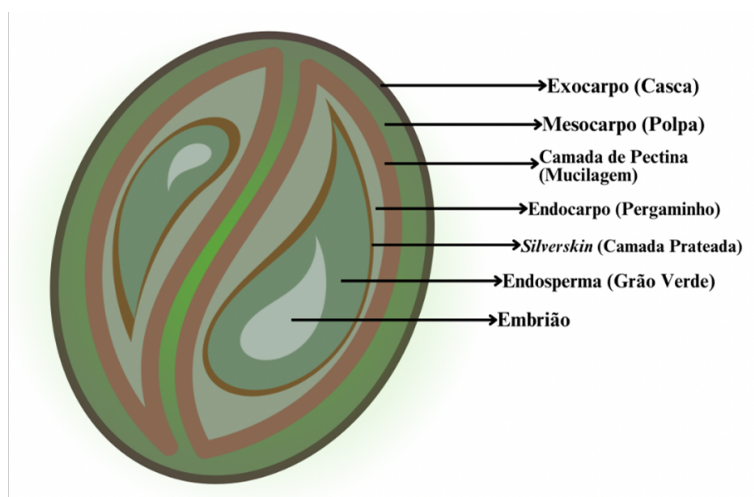
Neste capítulo, será abordado o café verde em seus múltiplos aspectos, começando pelas diferenças entre *Coffea arabica* e *Coffea canephora*. Em seguida, será abordada a composição química dos grãos de café verde e torrado, com destaque para as mudanças provocadas pela torrefação e seus impactos na funcionalidade do produto. Por fim, será apresentado o potencial do café verde como matéria-prima para diferentes aplicações industriais, considerando suas propriedades bioativas e suas contribuições para a saúde humana.

Estrutura e composição química do café

A estrutura do grão de café é composta por uma cápsula, também conhecida como cereja, que abriga duas sementes. Essas sementes são formadas principalmente pelo endosperma, um tecido cuja função é fornecer energia para a germinação e o crescimento da nova planta. Além disso, o endosperma contribui para o desenvolvimento dos aromas e sabores do café após a torra (VARNAM, 1994). O endosperma é envolvido por diversas camadas anatômicas, como a silverskin (camada prateada), uma fina película que protege o grão de fatores

ambientais, como luz e umidade. Acima da pele prateada, encontra-se o pergaminho, uma camada mais resistente que tem a função de proteger o grão contra agentes externos, especialmente durante o pós-colheita. Também estão presentes camadas de pectina, que conferem coesão e estrutura ao grão, além da polpa e da casca. Juntas, o endocarpo e a pele prateada representam cerca de 50% do volume do grão fresco (Figura 1) (SIVETZ, 1963).

Figura 1 – Componentes estruturais do café



Fonte: Os autores.

O café arábica (*Coffea arabica*) e o conilon (*Coffea canephora*) são as duas principais espécies de café cultivadas globalmente, amplamente reconhecidas por suas diferenças sensoriais. O arábica, apreciado por sua suavidade e complexidade de sabores, é geralmente considerado de maior qualidade. Já o conilon, com perfil sensorial mais amargo e notas terrosas, é valorizado em contextos específicos, como na produção de cafés solúveis e expressos mais intensos (GIRAUDO *et al.*, 2019; SENINDE; CHAMBERS, 2020; ZHU, 2021). Essas diferenças sensoriais refletem diretamente as composições químicas dos grãos, que

são influenciadas por fatores genéticos, ambientais e sazonais, resultando em variações de concentração de compostos químicos entre as safras (CELLI; DE CAMARGO, 2019; LIU *et al.*, 2019; DUCHATEAU; BOECKX, 2018; WORKU; DE MEULENAER). Entre os compostos bioativos mais presentes nos grãos, destacam-se a cafeína, compostos fenólicos e trigonelina (FARAH, 2012).

A crescente atenção da indústria à química dos grãos de café verde reflete a necessidade de práticas sustentáveis e eficientes, de modo a reduzir perdas durante as etapas pré e pós-colheita, minimizando os impactos ambientais e preservando a qualidade do produto final (PIZARRO *et al.*, 2007; CAUWELAERT *et al.*, 2024). Além disso, o reaproveitamento de resíduos do café, ainda subaproveitados apesar de seu alto potencial como fontes de compostos bioativos, é uma estratégia promissora para fomentar uma economia circular e sustentável (BICHO *et al.*, 2013; RAVEN; WAGNER, 2021).

A definição de qualidade no café permanece subjetiva, moldada por preferências culturais e regionais, o que dificulta sua padronização. Embora a literatura científica tenha avançado no entendimento das propriedades químicas dos grãos torrados e de seu impacto no sabor, ainda há lacunas significativas no conhecimento sobre a química do café verde, estágio crucial para a produção da bebida (BARBOSA *et al.*, 2019). A composição química dos grãos verdes é influenciada tanto por suas características intrínsecas quanto pela interação com os tecidos da fruta que os envolve, demandando uma compreensão mais abrangente desses processos (SENINDE; CHAMBERS, 2020).

No café verde, ou seja, antes da torra, são encontrados diversos compostos químicos fundamentais, como alcaloides, compostos fenólicos, carboidratos, lipídios, ácidos orgânicos e proteínas/aminoácidos. Esses compostos são determinantes na definição do perfil sensorial e na qualidade da bebida final (BOLLEN, 2024; CAPORASO *et al.*, 2018; ZHU, 2021).

Entre os alcaloides, destacam-se a cafeína e a trigonelina. A cafeína confere amargor e caráter estimulante, enquanto a trigonelina

contribui com notas de sabor únicas e, durante a torra, é convertida em compostos como pirróis e piridinas, que enriquecem o aroma (FARAH, 2019; MOHAMMED, 2020; SUALEH; TOLESSA, 2020). A cafeína é um dos poucos compostos estáveis, enquanto outros, como a trigonelina e os fenólicos, passam por reações químicas que resultam em uma ampla gama de compostos aromáticos e sensoriais, essenciais para a qualidade da xícara (ROBERT *et al.*, 2022). Os compostos fenólicos, incluindo ácidos como o clorogênico, cafeico, vanílico, ferúlico e p-cumárico, influenciam diretamente a acidez e o amargor, além de possuírem propriedades antioxidantes. Estudos mostram que o *Coffea canephora* possui maior diversidade de compostos fenólicos, com cerca de 74 estruturas identificadas, em comparação com 40 no *Coffea arabica*. Contudo, devido às limitações dos métodos de análise, o número total de compostos fenólicos ainda pode estar subestimado (BAEZA *et al.*, 2016; PINHEIRO, 2021).

Os carboidratos, que representam aproximadamente 50% das sementes, incluem açúcares livres e polissacarídeos, sendo essenciais para o desenvolvimento de aromas durante a torra (FARAH *et al.*, 2006). Já os compostos lipossolúveis, embora menos estudados, incluem substâncias como triacilgliceróis, diterpenos, esteróis, ácidos graxos livres, fosfolipídios e tocoferóis, que contribuem para a textura, corpo e estabilidade oxidativa da bebida (GONÇALVES; MARCUCCI, 2019; KÖLLING-SPEER *et al.*, 2005). Os ácidos orgânicos, como os ácidos alifáticos e quínicos, são importantes para a acidez e complexidade do sabor do café. Por fim, as proteínas e aminoácidos livres desempenham um papel crucial como precursores de compostos voláteis gerados na torra, enriquecendo o perfil aromático e conferindo nuances únicas à bebida (BARBOSA *et al.*, 2019).

Neste contexto, grande parte desses compostos sofre modificações durante o processo de torra, o que transforma o café verde em um produto com potencial para a indústria alimentícia.

Aspectos funcionais do café verde

Desde a antiguidade, o café atrai o interesse de consumidores devido a seus efeitos na manutenção do estado de alerta e da redução da fadiga, os quais são resultados da ação da cafeína (MANNINO; KUNZ; MAF-FEI, 2023). Contudo, com a descoberta de diversos compostos bioativos no café, esse produto ganhou destaque na comunidade científica, sendo associado a efeitos benéficos à saúde (SANTANA-GÁLVEZ; CISNEROS-ZEVALLOS; JACOBO-VELÁZQUEZ, 2017; PIMPLEY; MURTHY, 2021; SAMAVAT *et al.*, 2024).

Entre os compostos presentes nos grãos de café verde destaca-se os compostos fenólicos e sua atividade antioxidante capaz de neutralizar espécies reativas de oxigênio (ERO) produzidas por atividades metabólicas do corpo, protegendo tecidos humanos dos efeitos do estresse oxidativo, processo em que há um desequilíbrio entre a produção de ERO e os mecanismos de defesa antioxidante endógenos (KEANE *et al.*, 2015; RAHMAN, 2021; OLANIYAN; MUHIBI; OLANIYAN *et al.*, 2023).

Quando testados em modelos *in vitro*, animal e com humanos, o café verde e seus compostos de forma isolada demonstraram efeitos benéficos em relação a diversos âmbitos da saúde, como a redução da glicemia (KHALILI-MOGHADAM *et al.*, 2023), atividade anti tumorigênica (GOUTHAMCHANDRA *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2022), a redução do processo inflamatório (ZEYADA; ERAKY; EL-SHISHTAWY, 2024) e redução do peso corporal (CHOI *et al.*, 2016). A Tabela 1 ilustra os potenciais efeitos do café verde.

Tabela 1 – Efeitos do café verde e de seus compostos sobre a saúde

Composto	Modelo Experimental	Principais resultados	Referência
Extrato de café verde	Humanos	Redução do peso corporal e do IMC, menor concentração de glicemia em jejum em comparação ao grupo placebo	Khalili-Moghadam <i>et al</i> , 2023
Extrato de café verde	Humanos	Melhora do índice glicêmico, dos níveis séricos de leptina e da obesidade em pacientes com doença hepática gordurosa não alcoólica	Hosseiniabadi <i>et al</i> , 2020
Extrato de café verde	Humanos	Inibição da fosforilação de NF- κ B, modulação da produção de citocinas e aumento significativo da fagocitose	Narayanaperumal <i>et al</i> , 2022
Extrato de café verde	Animal	Melhora da barreira intestinal de animais com carcinogênese induzida e aumento de IgA secretora	Silva <i>et al</i> , 2022
Extrato de café verde	Animal	Diminuição do ganho de peso corporal, do peso do fígado e do tecido adiposo, diminuição nos níveis de expressão de mRNA de genes relacionados à adipogênese	Choi <i>et al</i> , 2016
Extrato de café verde	Animal	Melhora da regeneração óssea alveolar em modelos de periodontite	Rachmawati <i>et al</i> , 2024
Extrato de café verde	<i>In vitro</i>	Redução da viabilidade celular de células cancerígenas, diminuição da população de células de câncer de mama e perda de capacidade clonogênica	Nigra <i>et al</i> , 2021

continua

Composto	Modelo Experimental	Principais resultados	Referência
Ácido clorogênico	Humanos	Melhora da hipoglicemia pós-prandial, aumento de GLP-1 e diminuição da secreção de GIP	Yanagimoto <i>et al</i> , 2023
Ácido clorogênico de café verde	<i>In vitro</i>	Indução da morte celular de maneira dependente da dose e do tempo em linhagens de células cancerígenas	Gouthamchandra <i>et al</i> , 2017
Cafeína	Animal	Melhora da neuroinflamação e do comportamento depressivo, diminuição da expressão de p-AKT e NF- κ B	Zhang <i>et al</i> , 2024
Trigonelina	Animal	Atenuação da inflamação pulmonar e da fibrose induzida, melhora da autofagia e potencialização do efeito antifibrótico	Zeyada, Eraky, El-Shishtawy, 2024

Fonte: Os autores.

A obesidade é um problema de saúde pública diretamente associada a um estado de inflamação crônica de baixo grau (MONTEIRO; AZEVEDO, 2010; REBOLLO-HERNANZ *et al*, 2019; GOYA *et al*, 2023). Estudos em modelos animais de obesidade induzida demonstraram que a suplementação com café verde reduz os níveis de triglicerídeos séricos, o ganho de peso e regula os níveis glicêmicos (EL-KERSH *et al*, 2023; PIMPLEY *et al*, 2023). Esses estudos sugerem que o café verde age reduzindo processos inflamatórios e oxidativos, mas ainda são escassos os estudos que investiguem esses efeitos, principalmente em humanos.

Outra funcionalidade sugerida para o café verde é sua atividade prebiótica. Os prebióticos são substratos seletivamente utilizados por microrganismos hospedeiros, conferindo benefícios à saúde, como a produção de ácidos graxos de cadeia curta, que diminuem o pH

luminal, estimulam do sistema imunológico e aumentam a absorção de minerais, como o cálcio (ROJAS-GONZÁLEZ *et al.*, 2022). Estudos sugerem que a parte não absorvida do ácido-5-O-cafeico e do ácido cafeico, presentes no café verde, agem como substrato no trato gastrointestinal estimulando o crescimento de uma microbiota intestinal benéfica (GONTHIER *et al.*, 2006; RECHNER *et al.*, 2001; ROJAS-GONZÁLEZ *et al.*, 2022). Os mono-oligossacarídeos (MOS) presentes nos grãos de café verde também desempenham papel de promoção de crescimento de bactérias benéficas (ASSANO *et al.*, 2007; DESAI *et al.*, 2020). Quando testados em relação a sua eficiência prebiótica usando espécies de *Lactobacillus*, os oligossacarídeos do café verde foram capazes de estimular o crescimento dos microrganismos, além de demonstrarem resistência ao suco gástrico humano artificial (DESAI *et al.*, 2020).

Em relação a utilização de compostos presentes no café verde para investigação de efeitos pró-saúde, destaca-se o ácido clorogênico e a cafeína, visto que são crescentes os estudos científicos que buscam elucidar os efeitos desses compostos. Os ácidos clorogênicos do café verde estão sendo amplamente estudados acerca de seu potencial efeito de redução do processo inflamatório, atuando diretamente na via de sinalização do fator de transcrição nuclear kappa-B (NF- κ B) e no controle da expressão de fatores pró-inflamatórios (MURAI; MATSUDA, 2023). A redução do processo inflamatório foi observada em estudo com células Caco-2 e em camundongos, em que o ácido clorogênico inibiu a produção de Interleucina 8 (IL-8) nas células e atenuou os sintomas de colite induzida nos camundongos, sendo sugerido como um aliado na redução do risco de desenvolvimento de doença inflamatória intestinal (SHIN *et al.*, 2015; MURAI; MATSUDA, 2023).

A cafeína é outro composto de destaque presente no café verde por conter diversos efeitos benéficos à saúde como efeito antiproliferativo, inibindo a sinalização do crescimento celular, propriedade antioxidante por atuar eliminando ERO, quelar íons metálicos e

aumentar as defesas antioxidantes do corpo, ajuda na cicatrização de feridas por aumentar a atividade de fibroblastos e outros elementos da matriz extracelular, e efeito neuroprotetor contra doenças neurodegenerativas como Parkinson e Alzheimer (REDDY *et al.*, 2024). O Alzheimer é caracterizado pelo acúmulo de placas β -amiloides deformadas, e estudos em modelo animal demonstraram que a cafeína tem capacidade de diminuir os níveis de β -amiloides no plasma (PEREZ *et al.*, 2016; REDDY *et al.*, 2024).

Neste contexto, observa-se que o café e seus compostos bioativos possuem propriedades benéficas, que podem contribuir para a saúde humana. Contudo, os ensaios clínicos em humanos, utilizando os cafés verdes triturados ou seu extrato, ainda são escassos.

Aplicações na indústria de alimentos

Como discutido anteriormente, o café verde possui um importante potencial para a saúde humana, especialmente pela presença de compostos antioxidantes. Nesse sentido, grãos triturados de café verde ou seus extratos podem ser empregados na indústria alimentícia, visto que esses compostos possuem características benéficas à produção de alimentos, como boa solubilidade em água e em lipídios e como potencial agente inibidor da deterioração oxidativa, como sugerido em estudos com os ácidos cafeico (SØRENSEN; VILLENEUVE; JACOBSEN, 2017), p-cumárico (KILIÇ; YEŞİLOĞLU, 2013) e ferúlico (KIOKIAS; PROESTOS; OREOPOULOU, 2018). Assim, os compostos bioativos do café verde podem ser utilizados na prevenção da oxidação em emulsões (KIOKIAS; PROESTOS; OREOPOULOU, 2020).

Não obstante, a crescente demanda da população por alimentos mais saudáveis e funcionais aumentou o enriquecimento e a fortificação de alimentos, e o extrato de café verde ou seus compostos de forma isolada podem ser utilizados (ROJAS-GONZÁLEZ *et al.*, 2022). A Tabela 2 demonstra os principais resultados encontrados

com a incorporação de café verde no desenvolvimento de novos produtos alimentícios.

Na indústria de produtos cárneos é comum a adição de antioxidantes sintéticos para a prevenção da oxidação lipídica, a qual resulta em aromas indesejados e menor tempo de prateleira (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010). A adição de antioxidantes naturais provenientes do café verde é uma alternativa promissora à substituição de substâncias sintéticas por conterem altas quantidades de compostos fenólicos e compostos bioativos capazes de preservar a cor, diminuir a formação de produtos de oxidação e atuar como conservante natural em alternativa aos sintéticos (AWAD *et al.*, 2021; BERGAMASCHI *et al.*, 2023).

Em relação à indústria de produtos lácteos, já foram observadas diversas vantagens na incorporação do café verde. A utilização do café verde em pó em iogurte modificou significativamente a sinérese nesse produto, visto que os polifenóis presentes no café verde são capazes de interagir com proteínas e alterar suas propriedades estruturais, formando um complexo proteína-polifenol, que aumenta a estabilidade, e reduz o processo de separação do soro, prolongando a vida útil do produto (DÖNMEZ; MOGOL; GÖKMEN, 2017).

Em panificados a adição de compostos fenólicos pode surtir efeitos positivos como o aumento da vida útil dos produtos e atuação como agentes antimicrobianos, devido às suas propriedades antioxidantes, além de serem capazes de induzir interações com outros componentes da massa, como por exemplo a proteína do glúten, a água e o amido (XU; WANG; LI, 2019). Além disso, o uso de café verde em substituição parcial da farinha de trigo em panificados demonstrou a liberação de compostos antioxidantes e de compostos fenólicos altamente biodisponíveis durante a simulação da digestão *in vitro* (DZIKI *et al.*, 2015).

Em cereais integrais, a maioria dos compostos fenólicos são encontrada na forma insolúvel e estudos relatam estratégias utilizadas para aumentar a bioacessibilidade de compostos fenólicos em

pães, como a produção de panificados enriquecidos com fontes de compostos fenólicos solúveis, como a farinha de café verde (ŚWIECA *et al.*, 2017), que demonstraram bons resultados *in vitro* aumentando a quantidade de compostos fenólicos bioacessíveis em pães integrais (ALMEIDA *et al.*, 2020).

Tabela 2 – Aplicação do café verde na indústria alimentícia

Produto alimentício	Tipo de café utilizado	Forma de incorporação	Principais resultados	Referências
Bebida láctea	<i>Coffea canephora</i>	Extrato aquoso encapsulado	Aumento do conteúdo de compostos fenólicos totais, de propriedades antioxidantes e boa aceitação sensorial entre os consumidores	Do Carmo <i>et al.</i> (2022)
Leite de soja	<i>Coffea arabica</i>	Extrato aquoso	Melhora nos níveis de compostos fenólicos totais, aumento capacidade antioxidante e na bioacessibilidade de <i>in vitro</i> , aumento na digestibilidade de proteínas e amido, e elevada aceitação pelos consumidores	Sęczyk, Świeca, Gawlik-Dziki (2017)

continua

Produto alimentício	Tipo de café utilizado	Forma de incorporação	Principais resultados	Referências
Filmes comestíveis à base de amido de milho	<i>Coffea canephora</i> e <i>Coffea arabica</i>	Óleo	Melhora das propriedades mecânicas dos filmes, aumento da espessura, proteção de luz UV e da transparência, diminuição da densidade e boa atividade antimicrobiana contra bactérias Gram-positivas	Wang <i>et al.</i> (2022)
Pão de trigo integral	<i>Coffea canephora</i>	Infusão	Aumento de compostos fenólicos solúveis bioacessíveis	Almeida <i>et al.</i> (2020)
Almôndegas bovinas	Mistura de <i>Coffea canephora</i> e <i>Coffea arabica</i>	Extrato aquoso	Melhora da estabilidade oxidativa, manutenção da capacidade antioxidante por duas semanas, inibição da formação de hidrocarbonetos durante o armazenamento a frio	Mostafa, El Azab (2022)
Suco de tamarindo	<i>Coffea arabica</i>	Óleo	Incorporação ao suco sem alteração de propriedades reológicas ou sensoriais, permanência de estabilidade durante 30 dias de armazenamento	Oliveira <i>et al.</i> (2020)
Óleo de soja	<i>Coffea canephora</i> e <i>Coffea arabica</i>	Extrato hidroalcolico encapsulado	Retardo da oxidação lipídica e deterioração durante 45 dias de armazenamento e retardo da peroxidação lipídica	Faria <i>et al.</i> (2020)

continua

Produto alimentício	Tipo de café utilizado	Forma de incorporação	Principais resultados	Referências
Iogurte	<i>Coffea canephora</i>	Extrato aquoso	Aumento da capacidade antioxidante, viabilidade sustentada de culturas ao longo dos 21 dias de armazenamento, identificado como ingrediente promissor para o enriquecimento de iogurte probiótico	Pimpley, Maity, Murthy (2022)
Café instantâneo	<i>Coffea canephora</i>	Extrato aquoso	Aumento dos compostos fenólicos e da capacidade antioxidante	Corso, Vignoli, Benassi (2016)
Biscoito	<i>Coffea canephora</i>	Farinha	Efeitos progressivos nas propriedades físicas, químicas e sensoriais, aumento da capacidade antioxidante e do valor nutricional	Desai <i>et al</i> (2020)

Fonte: Os autores.

O café verde também pode ser incorporado a outros produtos da indústria alimentícia, como em biofilmes, por possuir propriedades antivirais, antifúngicas e antibacterianas (KHALAF *et al*, 2024). A utilização de óleo de café verde na produção de filmes demonstra aumento da transparência e da proteção contra luz UV, além da diminuição da densidade, da solubilidade e da taxa de transmissão de vapor de água do filme, indicando-o como um possível aliado à produção de embalagens funcionais bioativas, atuando para a preservação segura de alimentos e a extensão da vida útil dos produtos (WANG *et al*, 2022).

Além da utilização do café verde nas suas formas mais conhecidas, como óleo, extrato e os grãos moídos, o uso de seus coprodutos também pode ser empregado, visto que a indústria do café gera uma quantidade considerável de resíduos durante o processamento, por exemplo, na produção de óleo de café verde (LOPES *et al.*, 2022; MAYANGA-TORRES *et al.*, 2017). Quando utilizada uma biomassa proveniente de resíduos da produção de óleo de café verde, efeitos positivos foram encontrados para seu uso como substrato em fermentações alcoólicas (LOPES *et al.*, 2022). Além disso, o uso de extratos antioxidantes provenientes de subprodutos de óleo de café verde demonstrou alta capacidade antioxidante de biofilmes desenvolvidos, surtindo efeito protetor contra a oxidação lipídica (VIDAL, 2022). Ainda, o uso do óleo de café verde também pode ser explorado como um substituto natural para emulsificantes e antioxidantes sintéticos (AWAD *et al.*, 2021; WANG *et al.*, 2022).

A partir do conhecimento sobre os efeitos do café verde na saúde e sua aplicação na indústria alimentícia como agente antioxidante, novas estratégias de incorporação dos extratos podem ser vislumbradas, como sua aplicação em processos fermentativos (PALMIERI *et al.*, 2018). Esses bioprocessos envolvem microrganismos específicos que podem influenciar a composição química dos grãos e mudar as características estruturais dos compostos fenólicos, como por exemplo, quebrando ligações de ésteres dos fenólicos que estão ligados à parede celular, aumentando a concentração, e consequentemente, as suas propriedades funcionais como o aumento da sua bioacessibilidade e da sua absorção (PALMIERI *et al.*, 2018; WU *et al.*, 2023).

Considerações finais

O café verde é uma importante fonte de compostos bioativos com múltiplos benefícios à saúde, destacando-se sua ação antioxidante, seus efeitos anti-inflamatórios e sua ação prebiótica. Além disso, a

aplicação do café verde e de seus coprodutos na indústria de alimentos pode atuar a deterioração oxidativa, podendo ser um substituto natural de aditivos e antioxidantes sintéticos, além de contribuir para o desenvolvimento de novos produtos mais saudáveis e funcionais. Porém, ainda se faz necessário maiores investigações dos efeitos funcionais do café verde, principalmente em estudos clínicos com humanos, para um maior entendimento dos seus efeitos na saúde, e consequentemente, aumentar a eficiência da sua incorporação na produção de alimentos.

Referências

- ALMEIDA, S. S. *et al.* Bioaccessibility and gut metabolism of phenolic compounds of breads added with green coffee infusion and enzymatically bioprocessed. **Food Chemistry**, v. 333, p. 127473, 2020.
- ASANO, I. *et al.* Effects of mannoooligosaccharides from coffee on microbiota and short chain fatty acids in rat cecum. **Food Science and Technology Research**, v. 10, n. 3, p. 273-277, 2007.
- AWAD, A. M. *et al.* Extração verde de compostos bioativos da biomassa vegetal e sua aplicação na carne como antioxidante natural. **Antioxidants**, v. 10, n. 9, p. 1465, 2021.
- BAEZA, G. *et al.* Exhaustive qualitative LC-DAD-MS n analysis of Arabica green coffee beans: Cinnamoyl-glycosides and cinnamoyl-shikimic acids as new polyphenols in green coffee. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 64, n. 51, p. 9663-9674, 2016.
- BARBOSA, A. M.; SCHOLZ, M. B. dos S.; KITZBERGER, C. S. G.; BENASSI, M. de T. **Chemical composition of coffee beans and quality of cup**. [S. l.: s. n.], 2019.
- BARBOSA, M. S. G. *et al.* Correlation between the composition of green Arabica coffee beans and the sensory quality of coffee brews. **Food Chemistry**, v. 292, p. 275-280, 2019.

- BAYLE, M. A.; ADAMU, B. F. Chemistry of green coffee beans and their relevance to cup quality. **Chemistry of green coffee beans and their relevance to cup quality**. [S. l.: s. n.], 2019.
- BERGAMASCHI, M. *et al.* Antioxidant and sensory properties of raw and cooked pork meat burgers formulated with extract from non-compliant green coffee beans. **Foods**, v. 12, n. 6, p. 1264, 2023.
- BICHO, N. C. *et al.* Quality assessment of Arabica and Robusta green and roasted coffees-A review. **Emirates Journal of Food & Agriculture (EJFA)**, v. 25, n. 12, 2013.
- BOLLEN, R. *et al.* Metabolite profiles of green leaves and coffee beans as predictors of coffee sensory quality in Robusta (*Coffea canephora*) germplasm from the Democratic Republic of the Congo. **Applied Food Research**, v. 4, n. 2, p. 100560, 2024.
- CAPORASO, N. *et al.* Non-destructive analysis of sucrose, caffeine and trigonelline on single green coffee beans by hyperspectral imaging. **Food Research International**, v. 106, p. 193-203, 2018.
- CAUWELAERT, E. M. V. *et al.* Spatial trajectories of coffee harvesting in large-scale plantations: Ecological and management drivers and implications. **Agricultural Systems**, v. 221, p. 104141, 2024.
- CELLI, G. B.; DE CAMARGO, A. C. What is in a “Cup of Joe”? From green beans to spent grounds: a mini-review on coffee composition and health benefits. **Journal of Food Bioactives**, v. 6, 2019.
- CHOI, B. K. *et al.* Green coffee bean extract improves obesity by decreasing body fat in high-fat diet-induced obese mice. **Asian Pacific Journal of Tropical Medicine**, v. 9, n. 7, p. 635–643, 2016.
- CORSO, M. P.; VIGNOLI, J. A.; BENASSI, M. T. Development of an instant coffee enriched with chlorogenic acids. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, p. 1380-1388, 2016.

- DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. 4ª edição. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.
- DESAI, N. M. *et al.* Non-digestible oligosaccharides of green coffee spent and their prebiotic efficiency. **LWT**, v. 118, p. 108784, 2020.
- DO CARMO, L. B. *et al.* Green coffee extract microencapsulated: Physicochemical characteristics, stability, bioaccessibility, and sensory acceptability through dairy beverage consumption. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 20, p. 13221, 2022.
- DÖNMEZ, Ö.; MOGOL, B. A.; GÖKMEN, V. Syneresis and rheological behaviors of set yogurt containing green tea and green coffee powders. **Journal of dairy science**, v. 100, n. 2, p. 901-907, 2017.
- DOS SANTOS, A. M. *et al.* Botanical aspects, caffeine content and antioxidant activity of *Coffea arabica*. **American Journal of Plant Sciences**, v. 10, n. 06, p. 1013, 2019.
- DZIKI, D. *et al.* Ground green coffee beans as a functional food supplement–Preliminary study. **LWT-Food Science and Technology**, v. 63, n. 1, p. 691-699, 2015.
- EL-KERSH, D. M. *et al.* Unravelling the anti-inflammatory and antioxidant effects of standardized green and black caffeinated coffee, tea, and their mixtures in an obese male rat model: Insights from biochemical, metabolomic, and histopathological analyses. **Food and Chemical Toxicology**, v. 179, p. 113971, 2023.
- FARAH, A. (Ed.). **Coffee: Production, quality and chemistry**. Royal society of chemistry, 2019.
- FARAH, A. Coffee constituents. **Coffee: Emerging health effects and disease prevention**, v. 1, p. 22-58, 2012.
- FARAH, A. *et al.* Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. **Food chemistry**, v. 98, n. 2, p. 373-380, 2006.

- FARIA, W. C. S. *et al.* Antioxidant efficacy and *in silico* toxicity prediction of free and spray-dried extracts of green Arabica and Robusta coffee fruits and their application in edible oil. **Food Hydrocolloids**, v. 108, p. 106004, 2020.
- GIRAUDO, A. *et al.* Determination of the geographical origin of green coffee beans using NIR spectroscopy and multivariate data analysis. **Food Control**, v. 99, p. 137-145, 2019.
- GONTHIER, M.-P. *et al.* Microbial metabolism of caffeic acid and its esters chlorogenic and caftaric acids by human faecal microbiota *in vitro*. **Biomedicine & pharmacotherapy**, v. 60, n. 9, p. 536-540, 2006.
- GOUTHAMCHANDRA, K. *et al.* Chlorogenic acid complex CGA, standardized extract from green coffee beans exerts anticancer effects against cultured human colon cancer HCT116 cells. **Food Science and Human Wellness**, v. 6, n. 3, p. 147-153, 2017.
- GOYA, L. *et al.* Main Colonic Metabolites from Coffee Chlorogenic Acid May Counteract Tumor Necrosis Factor- α -Induced Inflammation and Oxidative Stress in 3T3L1 Cells. **Molecules**, v. 29, n. 1, p. 88, 2023.
- HALL, R. D.; TREVISAN, F.; DE VOS, R. C. H. Coffee berry and green bean chemistry—Opportunities for improving cup quality and crop circularity. **Food Research International**, v. 151, p. 110825, 2022.
- HOSSEINABADI, S. *et al.* Effects of green coffee extract supplementation on glycemic indexes, leptin, and obesity values in patients with non-alcoholic fatty liver disease. **Journal of Herbal Medicine**, v. 22, p. 100340, 2020.
- KEANE, K. N. *et al.* Molecular events linking oxidative stress and inflammation to insulin resistance and beta-cell dysfunction. **Oxidative medicine and cellular longevity**, v. 2015, n. 1, p. 181643, 2015.

- KHALAF, M. M. *et al.* Fabrication of smart nanogel based on carageenan and green coffee extract as a long-term antifouling agent to improve biofilm prevention in food production. **Food Chemistry**, v. 461, p. 140719, 2024.
- KHALILI-MOGHADAM, S. *et al.* Effects of green coffee aqueous extract supplementation on glycemic indices, lipid profile, CRP, and malondialdehyde in patients with type 2 diabetes: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. **Frontiers in Nutrition**, v. 10, p. 1241844, 2023.
- KILIÇ, I.; YEŞİLOĞLU, Y. Spectroscopic studies on the antioxidant activity of p-coumaric acid. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 115, p. 719-724, 2013.
- KIOKIAS, S.; PROESTOS, C.; OREOPOULOU, V. Phenolic acids of plant origin—A review on their antioxidant activity *in vitro* (o/w emulsion systems) along with their *in vivo* health biochemical properties. **Foods**, v. 9, n. 4, p. 534, 2020.
- KIOKIAS, S.; PROESTOS, C.; OREOPOULOU, V. Effect of natural food antioxidants against LDL and DNA oxidative changes. **Antioxidants**, v. 7, n. 10, p. 133, 2018.
- KOLLING-SPEER, I.; KURZROCK, T.; GRUNER, M.; SPEER, K. Formation of a new substance in the lipid fraction during the storage of green coffee beans. *In*: EKLUND, T. **Proceedings of Euro Food Chem XIII**. Hamburg, Germany: [s. n.], 2005. v. 2, p. 491-494.
- LADDOMADA, B.; CARETTO, S.; MITA, G. Wheat bran phenolic acids: Bioavailability and stability in whole wheat-based foods. **Molecules**, v. 20, n. 9, p. 15666-15685, 2015.
- LIU, C. *et al.* Modifying Robusta coffee aroma by green bean chemical pre-treatment. **Food chemistry**, v. 272, p. 251-257, 2019.
- LOPES, A. C. A. *et al.* Production and characterization of a new distilled beverage from green coffee seed residue. **Food Chemistry**, v. 377, p. 131960, 2022.

- MANNINO, G.; KUNZ, R.; MAFFEI, M. E. Discrimination of green coffee (*coffea arabica* and *coffea canephora*) of different geographical origin based on antioxidant activity, high-throughput metabolomics, and DNA RFLP fingerprinting. **Antioxidants**, v. 12, n. 5, p. 1135, 2023.
- MAYANGA-TORRES, P. C. *et al.* Valorization of coffee industry residues by subcritical water hydrolysis: Recovery of sugars and phenolic compounds. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 120, p. 75-85, 2017.
- MONTEIRO, R.; AZEVEDO, I. Chronic inflammation in obesity and the metabolic syndrome. **Mediators of inflammation**, v. 2010, n. 1, p. 289645, 2010.
- MOSTAFA, H. S.; EL AZAB, E. F. Efficacy of green coffee as an antioxidant in beef meatballs compared with ascorbic acid. **Food Chemistry: X**, v. 14, p. 100336, 2022.
- MURAI, T.; MATSUDA, S. The chemopreventive effects of chlorogenic acids, phenolic compounds in coffee, against inflammation, cancer, and neurological diseases. **Molecules**, v. 28, n. 5, p. 2381, 2023.
- NARAYANAPERUMAL, J. *et al.* A randomized double blinded placebo controlled clinical trial for the evaluation of green coffee extract on immune health in healthy adults. **Journal of Traditional and Complementary Medicine**, v. 12, n. 5, p. 455-465, 2022.
- NIGRA, A. D. *et al.* Antitumor Effects of Freeze-Dried Robusta Coffee (*Coffea canephora*) Extracts on Breast Cancer Cell Lines. **Oxidative medicine and cellular longevity**, v. 2021, n. 1, p. 5572630, 2021.
- OLANIYAN, M. F.; MUHIBI, M. A.; OLANIYAN, T. B. Oxidative stress and inflammatory response interplay. **Journal of Preventive, Diagnostic and Treatment Strategies in Medicine**, v. 2, n. 2, p. 94-100, 2023.

- OLIVEIRA, W. Q. *et al.* Complex coacervates of cashew gum and gelatin as carriers of green coffee oil: The effect of microcapsule application on the rheological and sensorial quality of a fruit juice. **Food research international**, v. 131, p. 109047, 2020.
- PALMIERI, M. G. S. *et al.* Enhancement of antioxidant properties from green coffee as promising ingredient for food and cosmetic industries. **Biocatalysis and agricultural biotechnology**, v. 16, p. 43-48, 2018.
- PEREZ, A. *et al.* The rationale of using coffee and melatonin as an alternative treatment for alzheimer's disease. **J Alzheimers Dis Parkinsonism**, v. 6, n. 205, p. 2161-0460.1000205, 2016.
- PIMPLEY, V. A. *et al.* Modulatory effect of green coffee bioactives on high-fat diet-induced obesity in C57BL6 mice model. **Nutrition**, v. 115, p. 112141, 2023.
- PIMPLEY, V. A.; MAITY, S.; MURTHY, P. S. Green coffee polyphenols in formulations of functional yoghurt and their quality attributes. **International Journal of Dairy Technology**, v. 75, n. 1, p. 159-170, 2022.
- PIMPLEY, V. A.; MURTHY, P. S. Influence of green extraction techniques on green coffee: Nutraceutical compositions, antioxidant potential and *in vitro* bio-accessibility of phenolics. **Food Bioscience**. V. 43, 101284, 2021.
- PINHEIRO, F. A. *et al.* Arabica and Conilon coffee flowers: Bioactive compounds and antioxidant capacity under different processes. **Food chemistry**, v. 336, p. 127701, 2021.
- PIZARRO, C.; ESTEBAN-DÍEZ, I.; GONZÁLEZ-SÁIZ, J. Mariá. Mixture resolution according to the percentage of robusta variety in order to detect adulteration in roasted coffee by near infrared spectroscopy. **Analytica Chimica Acta**, v. 585, n. 2, p. 266-276, 2007.
- RACHMAWATI, D. *et al.* Green Robusta Coffee Bean Extract (GRCBE) inhibits bone loss in *wistar* rat models of Lps P.

- gingivalis* and NiTi wire-induced experimental periodontitis. **Phytomedicine Plus**, v. 4, n. 2, p. 100535, 2024.
- RAHMAN, M. M. *et al.* Role of phenolic compounds in human disease: current knowledge and future prospects. **Molecules**, v. 27, n. 1, p. 233, 2021.
- RAVEN, P. H., WAGNER, D. L. Agricultural intensification and climate change are rapidly decreasing insect biodiversity. **Proc. Natl. Acad. Sci.** 118 (2), e2002548117. 2021.
- REBOLLO-HERNANZ, M. *et al.* Phenolic compounds from coffee by-products modulate adipogenesis-related inflammation, mitochondrial dysfunction, and insulin resistance in adipocytes, via insulin/PI3K/AKT signaling pathways. **Food and Chemical Toxicology**, v. 132, p. 110672, 2019.
- RECHNER, A. R. *et al.* Novel biomarkers of the metabolism of caffeic acid derivatives *in vivo*. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 30, n. 11, p. 1213-1222, 2001.
- REDDY, V. S. *et al.* Pharmacology of caffeine and its effects on the human body. **European Journal of Medicinal Chemistry Reports**, p. 100138, 2024.
- ROJAS-GONZÁLEZ, A. *et al.* Coffee chlorogenic acids incorporation for bioactivity enhancement of foods: A review. **Molecules**, v. 27, n. 11, p. 3400, 2022.
- SAMAVAT, S. *et al.* The effects of green coffee bean extract on blood pressure and heart rate: A systematic review and dose-response meta-analysis of randomized controlled trials. **Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews**, p. 103120, 2024.
- SANTANA-GÁLVEZ, J.; CISNEROS-ZEVALLOS, L.; JACOBO-VELÁZQUEZ, D. A. Chlorogenic acid: Recent advances on its dual role as a food additive and a nutraceutical against metabolic syndrome. **Molecules**, v. 22, n. 3, p. 358, 2017.
- SĘCZYK, Ł.; ŚWIECA, M.; GAWLIK-DZIKI, U. Soymilk enriched with green coffee phenolics—Antioxidant and nutritional

- properties in the light of phenolics-food matrix interactions. **Food Chemistry**, v. 223, p. 1-7, 2017.
- SENINDE, D. R.; CHAMBERS, E. Coffee flavor: A review. **Beverages**, v. 6, n. 3, p. 44, 2020.
- SHIN, H. S. *et al.* Anti-inflammatory effect of chlorogenic acid on the IL-8 production in Caco-2 cells and the dextran sulphate sodium-induced colitis symptoms in C57BL/6 mice. **Food chemistry**, v. 168, p. 167-175, 2015.
- SILVA, C. W. *et al.* Green coffee extract (*Coffea canephora*) improved the intestinal barrier and slowed colorectal cancer progression and its associated inflammation in rats. **PharmaNutrition**, v. 22, p. 100314, 2022.
- SIVETZ, M.; FOOTE, H. E. **Coffee Processing Technology** (vol. 1.): Fruit – Green, Roast, and Soluble Coffee. AVI, 1963.
- SØRENSEN, A. M.; VILLENEUVE, P.; JACOBSEN, C. Alkyl caffeates as antioxidants in O/W emulsions: Impact of emulsifier type and endogenous tocopherols. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 119, n. 6, p. 1600276, 2017.
- SUALEH, A.; TOLESSA, K.; MOHAMMED, A. Biochemical composition of green and roasted coffee beans and their association with coffee quality from different districts of southwest Ethiopia. **Heliyon**, v. 6, n. 12, 2020.
- ŚWIECA, M. *et al.* Wheat bread enriched with green coffee–*In vitro* bioaccessibility and bioavailability of phenolics and antioxidant activity. **Food chemistry**, v. 221, p. 1451-1457, 2017.
- VARNAM, A. H.; SUTHERLAND, J. P. **Beverages: Technology, Chemistry and Microbiology**. Springer, 1994.
- VIDAL, O. L. *et al.* Active packaging films containing antioxidant extracts from green coffee oil by-products to prevent lipid oxidation. **Journal of Food Engineering**, v. 312, p. 110744, 2022.
- WANG, Y. *et al.* Effect of green coffee oil as a natural active emulsifying agent on the properties of corn starch-based films. **LWT**, v. 170, p. 114087, 2022.

- WORKU, M. *et al.* Effect of altitude on biochemical composition and quality of green arabica coffee beans can be affected by shade and postharvest processing method. **Food Research International**, v. 105, p. 278-285, 2018.
- WU, H. *et al.* Phenolic bioaccessibility, antioxidant, and antidiabetic effects of indigenous fermented coffee beans after simulated gastrointestinal digestion and colonic fermentation. **Food Bioscience**, v. 54, p. 102920, 2023.
- XU, J.; WANG, W.; LI, Y. Dough properties, bread quality, and associated interactions with added phenolic compounds: A review. **Journal of functional foods**, v. 52, p. 629-639, 2019.
- YANAGIMOTO, A. *et al.* Acute dose–response effectiveness of combined catechins and chlorogenic acids on postprandial glycemic responses in healthy men: results from two randomized studies. **Nutrients**, v. 15, n. 3, p. 777, 2023.
- ZEYADA, M. S.; ERAKY, S. M.; EL-SHISHTAWY, M. M. Trigonelline mitigates bleomycin-induced pulmonary inflammation and fibrosis: Insight into nlrp3 inflammasome and sphk1/s1p/hippo signaling modulation. **Life Sciences**, v. 336, p. 122272, 2024.
- ZHANG, R. *et al.* Caffeine alleviate lipopolysaccharide-induced neuroinflammation and depression through regulating p-AKT and NF-kappaB. **Neuroscience Letters**, v. 837, p. 137923, 2024.
- ZHU, M. *et al.* Comparison of chemical and fatty acid composition of green coffee bean (*Coffea arabica* L.) from different geographical origins. **LWT**, v. 140, p. 110802, 2021.

Estratégias sustentáveis para o controle de *Listeria monocytogenes* em produtos cárneos prontos para consumo

Eniale de Melo Oliveira • Patrícia Campos Bernardes

Doenças transmitidas por alimentos foram relatadas nos últimos anos relacionadas ao consumo de alimentos com baixa atividade de água e produtos cárneos prontos para consumo (ACUFF *et al.*, 2023; SAMPEDRO *et al.*, 2022). Alimentos que não foram tratados termicamente ou de outra forma podem ser candidatos a surtos (ROSÁRIO *et al.*, 2021; STESSL *et al.*, 2022). A sobrevivência de patógenos em alimentos sob condições adversas tem sido estudada (TAYLOR *et al.*, 2021; MORASI *et al.*, 2022) e dentre os patógenos em alimentos, alvo em produtos cárneos pronto para consumo, destaca-se *Listeria monocytogenes*. Esta bactéria patogênica está amplamente distribuída em ambientes e utensílios de processamento de produtos cárneos (D'ARIGO *et al.*, 2020; SCHÄFER *et al.*, 2017).

A listeriose é uma das doenças transmitidas por alimentos mais graves monitoradas pela União Europeia (UE), com uma taxa de mortalidade de até 30% (EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY, 2023). A doença é causada pela bactéria *L. monocytogenes*, psicrotrófica, Gram positiva, pertencente ao gênero *Listeria* spp. (BENLLOCH-TINOCO *et al.*, 2014). Entre as principais manifestações clínicas da listeriose estão gastroenterite, meningite e septicemia. A preocupação com esta bactéria na contaminação durante o processamento e o pós-processamento reside na sua capacidade de resistir a condições severas de processamento, como altas e baixas temperaturas ou em atmosfera modificada (MAGALHÃES *et al.*, 2016).

A carne é uma importante fonte de proteína de alto valor biológico, lipídios, vitaminas do complexo B e minerais, elementos essenciais para a dieta humana (PEREIRA; VICENTE, 2013). Devido à sua perecibilidade, desde a antiguidade, buscaram-se formas de transformar a carne *in natura* em produtos com maior durabilidade (OLMEDILLA-ALONSO; JIMÉNEZ-COLMENERO; SÁNCHEZ-MUNIZ, 2013). Atualmente, há uma ampla variedade de produtos cárneos processados disponíveis, com diferentes composições e características sensoriais. Entre esses, os prontos para consumo destacam-se como uma categoria de grande relevância. No entanto, esses produtos enfrentam desafios relacionados à segurança microbiológica, sendo *L. monocytogenes* identificado como um dos principais microrganismos-alvo em produtos cárneos prontos para consumo (TEIXEIRA *et al.*, 2018; WANG *et al.*, 2016).

A fim de minimizar os riscos associados à contaminação por *L. monocytogenes* em produtos cárneos prontos para consumo, diferentes métodos de conservação são aplicados na indústria de alimentos. Técnicas tradicionais e bem estabelecidas, como o uso de altas temperaturas, congelamento, salga, defumação e a aplicação de conservantes químicos desempenharam papéis fundamentais no aumento da vida útil e na redução do risco de doenças de origem alimentar. Contudo, essas abordagens, apesar de eficazes, frequentemente impactam

negativamente as características sensoriais e nutricionais dos alimentos, além de levantarem preocupações crescentes em relação à sustentabilidade e ao uso excessivo de aditivos químicos (BOYE; ARCAND, 2013; PINTON *et al.*, 2021; RUDY *et al.*, 2020).

Nesse contexto, métodos de conservação emergentes e sustentáveis vêm ganhando destaque, oferecendo alternativas inovadoras e alinhadas às demandas por alimentos mais naturais. Tecnologias como o processamento por alta pressão, luz ultravioleta (UV-C), plasma frio, campos elétricos pulsados e bioconservação, através do uso de culturas protetoras e compostos antimicrobianos naturais, têm demonstrado potencial para controlar *L. monocytogenes* em produtos cárneos de forma eficiente (BAHRAMI *et al.*, 2020; HORITA *et al.*, 2018). Essas abordagens minimizam os impactos na qualidade sensorial e nutricional dos alimentos, além de reduzirem o impacto ambiental associado aos métodos tradicionais.

A relevância de explorar e implementar métodos de conservação emergentes e sustentáveis reside na necessidade de equilibrar a segurança do alimento, a qualidade dos produtos e a sustentabilidade ambiental. Justifica-se a abordagem do tema, pela importância de consolidar o conhecimento sobre os desafios e soluções atuais no controle de *Listeria monocytogenes* em produtos cárneos prontos para consumo.

Produtos cárneos prontos para consumo

Os alimentos prontos para consumo são alimentos preparados que não precisam da adição de outros ingredientes para o seu consumo, podendo ser pré-cozidos ou cozidos, ou requerer aquecimento ou cozimento complementar (BRASIL, 2022).

Se tratando dos produtos cárneos prontos para consumo, eles são uma categoria alimentar amplamente difundida, valorizada pela conveniência e variedade que oferecem. Estes incluem produtos de carnes processadas como presuntos, salsichas, salames e patês, que

estão prontos para o consumo sem necessidade de tratamento térmico adicional. Tal característica torna-os uma escolha popular em um mercado que privilegia alimentos rápidos e facilidade de preparo.

Esses produtos apresentam características sensoriais atrativas, como sabor, textura e aroma, que são valorizadas pelos consumidores. Sua produção combina técnicas tradicionais, como salga, defumação e fermentação, com tecnologias modernas, como embalagens a vácuo e em atmosfera modificada, que ajudam a prolongar a vida útil e manter a segurança microbiológica (BAHRAMI *et al.*, 2020; BORGES *et al.*, 2023; CASTRO *et al.*, 2018).

No entanto, os produtos prontos para o consumo apresentam desafios significativos no que tange à segurança dos alimentos. Por serem frequentemente consumidos sem novo preparo térmico, são mais vulneráveis à contaminação por patógeno, principalmente após o processamento (BAHRAMI *et al.*, 2020; SAMPEDRO *et al.*, 2022).

Para além da segurança, a sustentabilidade e a qualidade nutricional dos produtos prontos para o consumo recebem atenção. O aumento da demanda por alimentos mais naturais e livres de aditivos químicos está estimulando a indústria a buscar alternativas sustentáveis para a conservação, sem comprometer a qualidade sensorial e nutricional dos produtos (BAHRAMI *et al.*, 2020). Dessa forma, os produtos cárneos prontos para consumo representam uma combinação de tradição e inovação, permanecendo relevantes no cenário global.

Importância e prevalência de *Listeria monocytogenes* em produtos cárneos prontos para o consumo

Listeria monocytogenes é um patógeno de preocupação global devido à sua capacidade de causar listeriose, uma infecção grave associada a altas taxas de mortalidade, particularmente em indivíduos imunocomprometidos, gestantes, recém-nascidos e idosos. Entre os alimentos implicados em surtos de listeriose, os produtos cárneos prontos

para o consumo se destacam como um dos principais veículos de transmissão. Essa relevância está diretamente relacionada às características desses produtos, que são frequentemente consumidos sem etapas adicionais de cozimento, deixando-os mais suscetíveis à contaminação e à sobrevivência de microrganismos (EFSA; ECDC, 2023; MAĆKIW *et al.*, 2020). Além disso, várias investigações demonstram que *L. monocytogenes* está amplamente distribuída em ambientes de processamento de alimentos e utensílios (D'ARRIGO *et al.*, 2020; SCHÄFER *et al.*, 2017).

Entre as principais manifestações clínicas da listeriose estão a gastroenterite, bacteremia, meningite e aborto espontâneo (SCHODER, 2015; SWAMINATHAN; GERNER-SMIDT, 2007). Em 2022, listeriose foi a quinta zoonose mais comumente relatada em humanos na União Europeia. Apesar de ser a quinta mais relatada, estava entre as duas doenças mais graves e com maiores taxas de letalidade (18,1%). No mesmo ano, entre os veículos alimentares mais comuns para os surtos de origem alimentar de listeriose estavam os produtos cárneos (EFSA; ECDC, 2023). Nos Estados Unidos, um levantamento realizado na literatura científica entre 1990 e 2020, demonstrou que mais de 90% dos surtos dessa doença foram relacionados a produtos cárneos fatiados prontos para o consumo (SAMPEDRO *et al.*, 2022).

Uma das principais razões pelas quais *L. monocytogenes* é tão preocupante em produtos cárneos prontos para o consumo é sua alta resistência a condições adversas. Esta bactéria psicrotrófica é capaz de sobreviver e, em alguns casos, multiplicar-se em temperaturas de refrigeração, em ambientes com baixa atividade de água e sob atmosferas modificadas (LAKICEVIC *et al.*, 2022). Além disso, *L. monocytogenes* possui mecanismos que a tornam resistente a diferentes estresses, como variações de pH e salinidade, permitindo sua sobrevivência em produtos processados ao longo da cadeia de frio (CHIHIB *et al.*, 2003; NALBONE *et al.*, 2024).

Estudos realizados em diferentes regiões do mundo mostram uma prevalência preocupante de *L. monocytogenes* em produtos

cárneos prontos para o consumo. Na União Europeia, por exemplo, relatórios recentes indicaram que *L. monocytogenes* está presente em cerca de 2,5% dos produtos cárneos prontos para o consumo testados, com algumas amostras excedendo o limite regulamentar de 100 UFC/g (EFSA; ECDC, 2023). Dados semelhantes foram coletados na América Central, onde a *L. monocytogenes* foi detectada em 2,6% das amostras de produtos prontos para o consumo analisados (CALVO-ARRIETA *et al.*, 2021).

A prevalência em países em desenvolvimento pode ser ainda maior devido a lacunas nos sistemas de controle de qualidade e à manipulação durante o processamento e a distribuição. Estudos realizados no Brasil identificaram a presença do patógeno em até 11% dos produtos cárneos prontos para o consumo analisados, destacando a necessidade de estratégias mais eficientes de monitoramento e controle (CAVALCANTI *et al.*, 2022).

Métodos de controle tradicionais

O controle de *L. monocytogenes* em produtos cárneos prontos para consumo tem sido amplamente baseado em métodos tradicionais, que combinam práticas de processamento e conservação para inibir ou eliminar o patógeno. Embora sejam eficazes, esses métodos possuem limitações.

Refrigeração

O método mais difundido, é a refrigeração, estratégia utilizada para retardar o crescimento de microrganismos em produtos cárneos prontos para o consumo. Em temperaturas abaixo de 4°C, a multiplicação de *L. monocytogenes* é significativamente reduzida, mas não completamente inibida, devido à característica psicrótrfica do patógeno (BUCUR *et al.*, 2023). Van der Vossen-Wijmenga e seus colaboradores

(2024) mostraram que por mais que a temperatura média da refrigeração doméstica dos consumidores holandeses seja apropriada para conservar produtos prontos para consumo, uma proporção significativa de refrigeradores tinha temperaturas acima do valor recomendado. Assim, o controle rigoroso da cadeia de frio é essencial para minimizar os riscos.

Adição de sal

O uso do sal para conservar as carnes é feito desde a pré-história. Essa prática originou uma grande variedade de carnes curadas amplamente apreciadas no mundo. O cloreto de sódio (NaCl), utilizado nesta prática, é essencial para impedir o crescimento de microrganismos indesejados, através, principalmente, da redução da atividade de água (Aw). Esta técnica cria condições adversas ao crescimento microbiano, devido ao estresse osmótico causado, um método amplamente utilizado para controlar *L. monocytogenes* (FRAQUEZA *et al.*, 2021).

Para além disso, o NaCl é essencial para controlar reações bioquímicas e enzimáticas durante o processamento da carne e ao longo da vida útil do produto, extrair proteínas responsáveis por propriedades funcionais e melhorar atributos sensoriais (BERNARDO *et al.*, 2024). Porém, a ingestão excessiva de sódio é uma preocupação significativa para a saúde, contribuindo indiretamente para milhões de mortes em todo o mundo. O alto consumo de sódio é um fator de risco bem estabelecido associado a várias doenças, incluindo doenças cardiovasculares. Tal fato, faz com que a indústria busque formas de reduzir seu uso, mantendo a qualidade e segurança do produto (BERNARDO *et al.*, 2024; WANG *et al.*, 2023).

Tratamento térmico

O processamento térmico, amplamente utilizado como método tradicional para a inativação de microrganismos, permanece a abordagem

mais comum para eliminar patógenos transmitidos por alimentos e microrganismos deteriorantes. No entanto, o calor pode impactar a qualidade sensorial dos alimentos, além de comprometer o seu valor nutricional (BAHRAMI *et al.*, 2020; TAFTI *et al.*, 2013). Além disso, o processamento térmico suave pode ser subletal, o que pode permitir que as células se recuperem e cresçam durante o armazenamento. Esta é a principal preocupação com a segurança dos alimentos processados termicamente (NALBONE *et al.*, 2024). Além disso, produtos cárneos prontos para consumo, geralmente possuem uma concentração maior de NaCl. WANG *et al.*, (2016) estudaram a inativação de *L. monocytogenes* em presunto cozido e salsicha cozida, em que a adição de 3% de NaCl aumentou a resistência ao calor. Portanto, embora a adição de NaCl a produtos cárneos tenha uma função de prolongar a vida útil e garantir a segurança do alimento, pode aumentar a resistência ao calor deste patógeno em produtos cárneos.

Conservantes químicos

Os conservantes químicos desempenham um papel fundamental no controle, não apenas de *L. monocytogenes*, mas de microrganismos no geral, sendo amplamente utilizados pela indústria para garantir a segurança microbiológica e aumentar a vida útil dos alimentos. Entre os mais comuns está o nitrito de sódio. É um dos conservantes mais utilizados e eficientes, devido à sua capacidade de inibir microrganismos, preservar a cor rosada característica de produtos como salsichas e presuntos, além de contribuir para o desenvolvimento de sabores específicos. No entanto, seu uso é alvo de regulamentações rigorosas, principalmente devido à potencial formação de nitrosaminas, compostos que podem ser prejudiciais à saúde humana quando em concentrações elevadas. A preocupação com a segurança e a saúde pública tem levado a busca por estratégias para reduzir o teor de nitrito em produtos cárneos, sem comprometer sua eficácia antimicrobiana (BEDALE *et al.*, 2016; CROPP *et al.*, 2024). Portanto, embora

os conservantes químicos sejam pilares do controle de *L. monocytogenes* em produtos cárneos, sua aplicação enfrenta desafios crescentes relacionados à saúde, sustentabilidade e tendências do consumidor. Isso ressalta a importância de explorar e implementar novas abordagens que conciliam eficiência, segurança e alinhamento com as demandas do mercado atual.

Embora os métodos tradicionais sejam amplamente difundidos, suas limitações, como o impacto na saúde pública e as preocupações ambientais, têm incentivo ao desenvolvimento de tecnologias mais sustentáveis, que buscam garantir a segurança microbiológica sem comprometer a qualidade e atender às demandas de um mercado cada vez mais consciente.

Métodos de controle sustentáveis

A conservação de produtos cárneos prontos para consumo é uma área de constante evolução na indústria alimentícia, com o objetivo de equilibrar a segurança microbiológica, a qualidade sensorial e as exigências de sustentabilidade. Métodos tradicionais, como refrigeração, redução da A_w , tratamento térmico e uso de conservantes químicos, têm sido amplamente utilizados por sua eficácia comprovada. No entanto, novas tecnologias de conservação sustentável têm emergido para atender às exigências dos consumidores que buscam alimentos mais naturais, com menos aditivos artificiais e menor impacto ambiental.

Alta pressão hidrostática

O processamento de alta pressão é uma tecnologia não térmica que utiliza pressões elevadas, acima de 100 MPa, por meio de líquidos pressurizados mecanicamente, geralmente água. Essa pressão causa mudança no equilíbrio do sistema em direção à ocupação de

menores volumes e, em escala microscópica, em temperatura constante, aumenta o grau de ordenação de moléculas de uma determinada substância. Além disso, a pressão é exercida instantânea e uniformemente em todo o produto, para inativar microrganismos, já que altera a integridade celular sem a necessidade de calor. Além disso, a técnica preserva a qualidade sensorial e nutricional dos produtos cárneos (BAHRAMI *et al.*, 2020).

O principal mecanismo de inativação microbiana envolve danos estruturais e funcionais às células. A alta pressão hidrostática compromete a integridade das membranas celulares, tornando-as mais permeáveis ou causando seu rompimento, o que leva à perda de componentes intracelulares essenciais. Além disso, proteínas importantes, como enzimas e outras responsáveis por funções metabólicas, podem ser desnaturadas ou agregadas, inviabilizando o metabolismo microbiano, uma vez que altera a fluidez da membrana. A pressão também causa dissociação dos ribossomos do microrganismo e limita a viabilidade celular (BAHRAMI *et al.*, 2020; GEORGET *et al.*, 2015).

Em células de *L. monocytogenes* os efeitos desta técnica dependem dos parâmetros de processamento, como a pressão aplicada, temperatura, composição e propriedades da matriz e a sensibilidade da cepa (BAHRAMI *et al.*, 2020). Por vezes, alta pressão hidrostática é um tratamento eficaz para aumentar a segurança de alimentos contra *L. monocytogenes* (LEE *et al.*, 2023). Por outro lado, BAHRAMI *et al.*, (2020) mostraram que a alta pressão hidrostática em alguns casos não foi suficiente para reduzir esse patógeno. Além disso, mesmo com a redução da população inicial a bactéria voltou a crescer durante o armazenamento, indicando células danificadas de forma subletal (VALDRAMIS *et al.*, 2015). Desta forma, o ideal é que esta técnica seja aplicada em conjunto com outra, como demonstrou Martillanes e seus colaboradores (2021), a combinação de alta pressão hidrostática com filmes à base de quitosana de nisina ou orizanol foi o melhor tratamento testado, reduzindo a população de *L. monocytogenes* em presunto ibérico fatiado curado a seco.

Dessa forma, observa-se que esse método tem sido amplamente adotado na indústria de produtos cárneos prontos para consumo, especialmente em países desenvolvidos, onde a segurança dos alimentos é altamente priorizada. Um dos principais benefícios dessa tecnologia é a ausência de resíduos químicos e o impacto mínimo sobre o meio ambiente. No entanto, os custos elevados de implementação e manutenção ainda são desafios para a sua ampla adoção, especialmente em mercados emergentes, além de muitas vezes ser necessário o uso de tecnologias em conjunto.

Plasma frio

O uso de plasma frio é uma abordagem sustentável que emprega gases ionizados para eliminar microrganismos presentes na superfície dos alimentos. Este plasma é gerado quando uma descarga elétrica é aplicada a um gás específico, como ar inerte ou ambiente. Sob condições atmosféricas, ele gera espécies reativas de oxigênio (ERO) e nitrogênio (ERN), reconhecidas por sua forte atividade antimicrobiana (BAHRAMI *et al.*, 2020; LIS *et al.*, 2018). Estas espécies podem causar estresses de oxidação ou lise física na célula e causar vazamento e liberação de material intracelular ou resultar em danos ao DNA genômico (GÖK *et al.*, 2019).

Um dos principais atrativos do plasma frio é sua compatibilidade com embalagens, permitindo o tratamento direto de produtos cárneos embalados (BAUER *et al.*, 2017). Além disso, essa tecnologia consome menos energia em comparação com métodos térmicos, alinhando-se aos princípios de sustentabilidade. Essa técnica demonstrou resultados promissores no controle de *L. monocytogenes*. GÖK *et al.*, (2019) verificaram que o tratamento com plasma atmosférico frio foi eficaz contra esta bactéria em um produto de carne bovina curada a seco, reduzindo as contagens do patógeno. Assim como Lis e colaboradores (2018). Porém, estes encontraram efeito melhor nas

reduções da bactéria quando utilizado o plasma frio em sinergismo com a refrigeração, em presunto pronto para consumo.

Uma desvantagem significativa do tratamento com plasma frio é a possível formação de nanopartículas provenientes dos materiais dos eletrodos utilizados (BORRA *et al.*, 2015). No entanto, ainda são necessários estudos adicionais para compreender os níveis dessas nanopartículas em produtos alimentares.

Biocontrole

A bioconservação utiliza microrganismos ou seus metabólitos para inibir o crescimento de *L. monocytogenes* em produtos cárneos. Culturas protetoras, como bactérias lácticas (BAL), desempenham um papel central nesse método devido à sua capacidade natural de dominar a população microbiana de muitos alimentos onde ocorrem, além de produzir produtos antimicrobianos naturais, como bacteriocinas, ácidos orgânicos e peróxido de hidrogênio (MARTÍN *et al.*, 2022).

Os mecanismos de BAL para inibição de *L. monocytogenes* em alimentos prontos para consumo incluem, (i) a produção de compostos antimicrobianos, pois produzem ácido láctico e outros ácidos orgânicos, bacteriocinas, proteínas bactericidas, entre outros; (ii) a competição por nutrientes, levando a depleção (iii) competição por espaço, pois as BAL podem impedir a ligação de *L. monocytogenes* em células hospedeiras colonizando as células hospedeiras e/ou saturando o receptor de ligação do patógeno. Bacteriocinas são geralmente produzidas pelos gêneros *Lactobacillus* e *Lactococcus*. Entre elas, as mais conhecidas pelo efeito listericida, e comprovadas por terem o *status* GRAS (Geralmente Reconhecido como Seguro), incluem a nisina, pediocina, leucocina, bifidocina e plantaricina (MARTÍN *et al.*, 2022).

Estudos demonstram os bons resultados das bacteriocinas no controle de *L. monocytogenes*, principalmente em sinergismo com outras técnicas (BARBOSA *et al.*, 2015; MARTÍN *et al.*, 2022; TURGIS *et al.*, 2012). De maneira geral, a nisina é altamente promissora no

controle de contaminações por *L. monocytogenes*, sendo uma alternativa eficaz como estratégia de biocontrole em alimentos. Porém, quando usada em combinação com outros métodos antimicrobianos, sua eficácia é ampliada, ao mesmo tempo que se reduz o risco de desenvolvimento de resistência à nisina e preserva a qualidade dos produtos alimentícios (WU *et al.*, 2023). Um dos pontos negativos, é a resistência que *L. monocytogenes* tem desenvolvido contra bacteriocinas (MANDINYENYA *et al.*, 2025).

Considerações finais

A segurança microbiológica de produtos cárneos prontos para consumo representa um desafio significativo, especialmente no controle de *L. monocytogenes*, um patógeno associado a sérios riscos à saúde pública. Enquanto os métodos tradicionais, como refrigeração, tratamento térmico e uso de conservantes químicos, têm desempenhado um papel fundamental, suas limitações, como impactos negativos nas preocupações com a saúde e sustentabilidade, têm motivado a busca por alternativas inovadoras.

Nesse contexto, tecnologias emergentes como o processamento por alta pressão, o plasma frio e o biocontrole apresentam elevado potencial para atender às demandas por alimentos seguros, de alta qualidade e com menor impacto ambiental. Essas abordagens permitem o controle de *L. monocytogenes*, preservando as características sensoriais e nutricionais dos produtos e alinhando-se às tendências de consumo mais conscientes.

No entanto, cada tecnologia apresenta desafios específicos, como os altos custos de implementação da alta pressão, a formação de nanopartículas no plasma frio e a resistência à bacteriocinas. Assim, a integração de métodos de conservação, combinando técnicas tradicionais e emergentes, desponta como a estratégia mais promissora

para equilibrar segurança, qualidade e sustentabilidade na produção de produtos cárneos prontos para consumo.

Referências

- ACUFF, J. C.; DICKSON, J. S.; FARBER, J. M.; GRASSO-KELLEY, E. M.; HEDBERG, C.; LEE, A.; ZHU, M. J. Practice and Progress: updates on outbreaks, advances in research, and processing technologies for low-moisture food safety. **Journal of Food Protection**, v. 86, n. 1, p. 100018, 2023.
- BAHRAMI, A.; BABOLI, Z. M.; SCHIMMEL, K.; JAFARI, S. M.; WILLIAMS, L. Efficiency of novel processing technologies for the control of *Listeria monocytogenes* in food products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 96, p. 61-78, 2020.
- BARBOSA, M. S.; TODOROV, S. D.; JURKIEWICZ, C. H.; FRANCO, B. D. Bacteriocin production by *Lactobacillus curvatus* MBSa2 entrapped in calcium alginate during ripening of salami for control of *Listeria monocytogenes*. **Food Control**, v. 47, p. 147-153, 2015.
- BAUER, A.; NI, Y.; BAUER, S.; PAULSEN, P.; MODIC, M.; WALSH, J. L.; SMULDERS, F. J. M. The effects of atmospheric pressure cold plasma treatment on microbiological, physical-chemical and sensory characteristics of vacuum packaged beef loin. **Meat Science**, v. 128, p. 77-87, 2017.
- BEDALE, W.; SINDELAR, J. J.; MILKOWSKI, A. L. Dietary nitrate and nitrite: Benefits, risks, and evolving perceptions. **Meat Science**, v. 120, p. 85-92, 2016.
- BENLLOCH-TINOCO, M.; PINA-PÉREZ, M. C.; MARTÍNEZ-NAVARETE, N.; RODRIGO, D. *Listeria monocytogenes* inactivation kinetics under microwave and conventional thermal processing in a kiwifruit puree. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 22, p. 131-136, 2014.

- BERNARDO, P.; FERNANDES, M. J.; FERNANDES, M. H.; TEIXEIRA, M. P.; ALFAIA, C. M.; SERRANO, C.; PATARATA, L.; FRAQUEZA, M. J. Salt reduction strategies for dry cured meat products: The use of KCl and microencapsulated spices and aromatic plant extracts. **Meat Science**, p. 109719, 2024.
- BORGES, A.; BAPTISTA, E.; AYMERICH, T.; ALVES, S. P.; GAMA, L. T.; FRAQUEZA, M. J. Inactivation of *Listeria monocytogenes* by pulsed light in packaged and sliced salpicão, a ready-to-eat traditional cured smoked meat sausage. **LWT**, v. 179, p. 114641, 2023.
- BORRA, J. P.; JIDENKO, N.; HOU, J.; WEBER, A. Vaporization of bulk metals into single-digit nanoparticles by non-thermal plasma filaments in atmospheric pressure dielectric barrier discharges. **Journal of Aerosol Science**, v. 79, p. 109-125, 2015.
- BOYE, J. I.; ARCAND, Y. Current trends in green technologies in food production and processing. **Food Engineering Reviews**, v. 5, p. 1-17, 2013.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 719, de 1º de julho de 2022. **Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 719, de 1º de julho de 2022**. Dispõe sobre os requisitos sanitários das misturas para o preparo de alimentos e dos alimentos prontos para o consumo. [S. l.: s. n.], 2022.
- BUCUR, F. I.; BORDA, D.; NEAGU, C.; GRIGORE-GURGU, L.; NICOLAU, A. I. Deterministic approach and Monte Carlo simulation to predict *Listeria monocytogenes* time to grow on refrigerated ham: A Study supporting risk-based decisions for consumers' health. **Journal of Food Protection**, v. 86, n. 1, p. 100026, 2023.
- CALVO-ARRIETA, K.; MATAMOROS-MONTOYA, K.; ARIAS-ECHANDI, M. L.; HUETE-SOTO, A.; REDONDO-SOLANO, M. Presence of *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat meat products sold at retail stores in Costa Rica and analysis of

- contributing factors. **Journal of Food Protection**, v. 84, n. 10, p. 1729-1740, 2021.
- CASTRO, S. M.; SILVA, J.; CASQUETE, R.; QUEIRÓS, R.; SARAIVA, J. A.; TEIXEIRA, P. Combined effect of pediocin bacHA-6111-2 and high hydrostatic pressure to control *Listeria innocua* in fermented meat sausage. **International Food Research Journal**, v. 25, n. 2, p. 553-560, 2018.
- CAVALCANTI, A. A. C.; LIMEIRA, C. H.; DE SIQUEIRA, I. N.; DE LIMA, A. C.; DE MEDEIROS, F. J. P.; DE SOUZA, J. G.; MEDEIROS, N. G. A.; OLIVEIRA FILHO, A. A.; DE MELO, M. A. The prevalence of *Listeria monocytogenes* in meat products in Brazil: A systematic literature review and meta-analysis. **Research in Veterinary Science**, v. 145, p. 169-176, 2022.
- CHIHIB, N. E.; RIBEIRO DA SILVA, M.; DELATTRE, G.; LAROCHE, M.; FEDERIGHI, M. Different cellular fatty acid pattern behaviours of two strains of *Listeria monocytogenes* Scott A and CNL 895807 under different temperature and salinity conditions. **FEMS Microbiology Letters**, v. 218, n. 1, p. 155-160, 2003.
- CROPP, M. S.; SEBRANEK, J. G.; DICKSON, J. S.; WALLA, A. M.; HOUSER, T. A.; PRUSA, K. J.; UNRUH, D. A.; TARTÉ, R. Effect of Nitrite-Embedded Packaging Film on Growth of *Listeria monocytogenes* in Nitrite-free and Conventionally-cured Bologna Sausage. **Journal of Food Protection**, v. 87, n. 11, p. 100361, 2024.
- D'ARRIGO, M.; MATEO-VIVARACHO, L.; GUILLAMÓN, E.; FERNÁNDEZ-LEÓN, M. F.; BRAVO, D.; PEIROTÉN, Á.; MEDINA, M.; GARCÍA-LAFUENTE, A. Characterization of persistent *Listeria monocytogenes* strains from ten dry-cured ham processing facilities. **Food Microbiology**, v. 92, p. 103581, 2020.
- EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY (EFSA); EUROPEAN CENTRE FOR DISEASE PREVENTION AND CONTROL

- (ECDC). The European Union One Health 2022 Zoonoses Report. **EFSA Journal**, v. 21, n. 12, p. e8442, 2023.
- FRAQUEZA, M. J.; LARANJO, M.; ELIAS, M.; PATARATA, L. Microbiological hazards associated with salt and nitrite reduction in cured meat products: Control strategies based on antimicrobial effect of natural ingredients and protective microbiota. **Current Opinion in Food Science**, v. 38, p. 32-39, 2021.
- GEORGET, E.; SEVENICH, R.; REINEKE, K.; MATHYS, A.; HEINZ, V.; CALLANAN, M.; RAUH, C.; KNORR, D. Inactivation of microorganisms by high isostatic pressure processing in complex matrices: A review. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 27, p. 1-14, 2015.
- GÖK, V.; AKTOP, S.; ÖZKAN, M.; TOMAR, O. The effects of atmospheric cold plasma on inactivation of *Listeria monocytogenes* and *Staphylococcus aureus* and some quality characteristics of pastırma—A dry-cured beef product. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 56, p. 102188, 2019.
- HORITA, C. N.; BAPTISTA, R. C.; CATURLA, M. Y.; LORENZO, J. M.; BARBA, F. J.; SANT'ANA, A. S. Combining reformulation, active packaging and non-thermal post-packaging decontamination technologies to increase the microbiological quality and safety of cooked ready-to-eat meat products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 72, p. 45-61, 2018.
- LAKICEVIC, B. Z.; DEN BESTEN, H. M.; DE BIASE, D. Landscape of stress response and virulence genes among *Listeria monocytogenes* strains. **Frontiers in Microbiology**, v. 12, p. 738470, 2022.
- LEE, S.; LEE, J.; SHIN, J.; CHOI, M. J. Effects of high-pressure processing on the physicochemical properties of prosciutto and microbe inactivation. **LWT**, v. 187, p. 115294, 2023.
- LIS, K. A.; BOULAABA, A.; BINDER, S.; LI, Y.; KEHRENBURG, C.; ZIMMERMANN, J. L.; KLEIN, G.; AHLFELD, B. Inactivation of *Salmonella Typhimurium* and *Listeria monocytogenes* on

- ham with nonthermal atmospheric pressure plasma. **PLoS One**, v. 13, n. 5, p. e0197773, 2018.
- MAĆKIW, E.; STASIAK, M.; KOWALSKA, J.; KUCHARZEK, K.; KORSIAK, D.; POSTUPOLSKI, J. Occurrence and characteristics of *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat meat products in Poland. **Journal of Food Protection**, v. 83, n. 6, p. 1002-1009, 2020.
- MAGALHÃES, R.; FERREIRA, V.; BRANDÃO, T. R.; PALENCIA, R. C.; ALMEIDA, G.; TEIXEIRA, P. Persistent and non-persistent strains of *Listeria monocytogenes*: A focus on growth kinetics under different temperature, salt, and pH conditions and their sensitivity to sanitizers. **Food Microbiology**, v. 57, p. 103-108, 2016.
- MANDINYENYA, T.; WAMBUI, J.; MUCHAAMBA, F.; STEVENS, M. J.; TASARA, T. Nisin resistance is increased through GtcA mutation induced loss of cell wall teichoic acid N-acetylglucosamine modifications in *Listeria monocytogenes*. **International Journal of Food Microbiology**, v. 428, p. 110954, 2025.
- MARTILLANES, S.; ROCHA-PIMIENTA, J.; LLERA-OYOLA, J.; GIL, M. V.; AYUSO-YUSTE, M. C.; GARCÍA-PARRA, J.; DELGADO-ADÁMEZ, J. Control of *Listeria monocytogenes* in sliced dry-cured Iberian ham by high pressure processing in combination with an eco-friendly packaging based on chitosan, nisin and phytochemicals from rice bran. **Food Control**, v. 124, p. 107933, 2021.
- MARTÍN, I.; RODRÍGUEZ, A.; DELGADO, J.; CÓRDOBA, J. J. Strategies for biocontrol of *Listeria monocytogenes* using lactic acid bacteria and their metabolites in ready-to-eat meat-and dairy-ripened products. **Foods**, v. 11, n. 4, p. 542, 2022.
- MORASI, R. M.; RALL, V. L. M.; DANTAS, S. T. A.; ALONSO, V. P. P.; SILVA, N. C. C. *Salmonella* spp. in low water activity food: Occurrence, survival mechanisms, and thermoresistance. **Journal of Food Science**, v. 87, n. 6, p. 2310-2323, 2022.

- NALBONE, L.; FORGIA, S.; ZIINO, G.; SORRENTINO, G.; GIARATANA, F.; GIUFFRIDA, A. A stochastic approach for modelling the *in-vitro* effect of osmotic stress on growth dynamics and persistent cell formation in *Listeria monocytogenes*. **International Journal of Food Microbiology**, v. 413, p. 110586, 2024.
- OLMEDILLA-ALONSO, B.; JIMÉNEZ-COLMENERO, F.; SÁNCHEZ-MUNIZ, F. J. Development and assessment of healthy properties of meat and meat products designed as functional foods. **Meat Science**, v. 95, n. 4, p. 919-930, 2013.
- PEREIRA, P. M. D. C. C.; VICENTE, A. F. D. R. B. Meat nutritional composition and nutritive role in the human diet. **Meat Science**, v. 93, n. 3, p. 586-592, 2013.
- PINTON, M. B.; DOS SANTOS, B. A.; LORENZO, J. M.; CICHOSKI, A. J.; BOEIRA, C. P.; CAMPAGNOL, P. C. B. Green technologies as a strategy to reduce NaCl and phosphate in meat products: An overview. **Current Opinion in Food Science**, v. 40, p. 1-5, 2021.
- ROSÁRIO, D. K.; RODRIGUES, B. L.; BERNARDES, P. C.; CONTE-JUNIOR, C. A. Principles and applications of non-thermal technologies and alternative chemical compounds in meat and fish. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 61, n. 7, p. 1163-1183, 2021.
- RUDY, M.; KUCHARYK, S.; DUMA-KOCAN, P.; STANISŁAWCZYK, R.; GIL, M. Unconventional methods of preserving meat products and their impact on health and the environment. **Sustainability**, v. 12, n. 15, p. 5948, 2020.
- SAMPEDRO, F.; PÉREZ-RODRÍGUEZ, F.; SERVADIO, J. L.; GUMMALLA, S.; HEDBERG, C. W. Quantitative risk assessment model to investigate the public health impact of varying *Listeria monocytogenes* allowable levels in different food commodities: A retrospective analysis. **International Journal of Food Microbiology**, v. 383, p. 109932, 2022.

- SCHÄFER, D. F.; STEFFENS, J.; BARBOSA, J.; ZENI, J.; PAROUL, N.; VALDUGA, E.; JUNGES, A.; BACKES, G. T.; CANSIAN, R. L. Characterization of persistent *Listeria monocytogenes* strains from ten dry-cured ham processing facilities. **Food Microbiology**, v. 92, p. 103581, 2020.
- SCHODER, D. *Listeria*: Listeriosis. In: **Encyclopedia of Food and Health**. 2015.
- STESSL, B.; RUPPITSCH, W.; WAGNER, M. *Listeria monocytogenes* post-outbreak management-When could a food production be considered under control again?. **International Journal of Food Microbiology**, v. 379, p. 109844, 2022.
- SWAMINATHAN, B., GERNER-SMIDT, P. The epidemiology of human listeriosis. **Microbes and infection**, v. 9, n. 10, p. 1236-1243, 2007.
- TAFTI, A. G.; PEIGHAMBARDOUST, S. H.; HESARI, J.; BAHRAMI, A.; BONAB, E. S. Physico-chemical and functional properties of spray-dried sourdough in breadmaking. **Food Science and Technology International**, v. 19, n. 3, p. 271-278, 2013.
- TAYLOR, M. H.; ZHU, M. J. Control of *Listeria monocytogenes* in low-moisture foods. **Trends in Food Science & Technology**, v. 116, p. 802-814, 2021.
- TEIXEIRA, J. S.; REPKOVÁ, L.; GÄNZLE, M. G.; MCMULLEN, L. M. Effect of pressure, reconstituted RTE meat microbiota, and antimicrobials on survival and post-pressure growth of *Listeria monocytogenes* on ham. **Frontiers in Microbiology**, v. 9, p. 1979, 2018.
- TURGIS, M.; STOTZ, V.; DUPONT, C.; SALMIERI, S.; KHAN, R. A.; LACROIX, M. Elimination of *Listeria monocytogenes* in sausage meat by combination treatment: Radiation and radiation-resistant bacteriocins. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 81, n. 8, p. 1185-1188, 2012.
- VAN DER VOSSSEN-WIJMENGA, W. P.; DEN BESTEN, H. M.; ZWIETERING, M. H. Temperature status of domestic

- refrigerators and its effect on the risk of listeriosis from ready-to-eat RTE cooked meat products. **International Journal of Food Microbiology**, v. 413, p. 110516, 2024.
- VALDRAMIDIS, V. P.; PATTERSON, M. F.; LINTON, M. Modelling the recovery of *Listeria monocytogenes* in high pressure processed simulated cured meat. **Food Control**, v. 47, p. 353-358, 2015.
- WANG, J.; HUANG, X. H.; ZHANG, Y. Y.; LI, S.; DONG, X.; QIN, L. Effect of sodium salt on meat products and reduction sodium strategies—A review. **Meat Science**, p. 109296, 2023.
- WANG, X.; UYTENDAELE, M.; GEERAERD, A.; STEEN, L.; FRAEYE, I.; DEVLIEGHIERE, F. Thermal inactivation kinetics of surface contaminating *Listeria monocytogenes* on vacuum-packaged agar surface and ready-to-eat sliced ham and sausage. **Food Research International**, v. 89, p. 843-849, 2016.
- WU, M.; MA, Y.; DOU, X.; ASLAM, M. Z.; LIU, Y.; XIA, X.; YANG, S.; WANG, X.; QIN, X.; HIRATA, T.; DONG, Q.; LI, Z. A review of potential antibacterial activities of nisin against *Listeria monocytogenes*: The combined use of nisin shows more advantages than single use. **Food Research International**, v. 164, p. 112363, 2023.

Economia circular no processo produtivo de cerveja

*Leonardo do Vale Borges Poubel • Matheus Stoffel Zacchi •
Suzana Maria Della Lucia • Tarcísio Lima Filho*

A gestão de resíduos é um problema global que apresenta desafios significativos para a saúde ambiental, econômica e social das comunidades. Segundo a World Bank, a produção mundial de resíduos sólidos urbanos foi de 2,01 bilhões de toneladas em 2016 e espera-se que aumente para 3,40 bilhões de toneladas até 2050, caso nenhuma ação seja tomada. A destinação incorreta de resíduos pode levar a problemas sérios como a poluição do solo, da água e do ar, afetando diretamente a biodiversidade e a saúde humana (KAZA *et al.*, 2018).

Resíduos sólidos descartados inadequadamente podem obstruir sistemas de drenagem, causar enchentes e criar ambientes propícios para a proliferação de vetores de doenças, como mosquitos e roedores. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), cerca de 23% de todas as mortes mundiais estão relacionadas a fatores ambientais, incluindo a má gestão de resíduos (OMS, 2022).

Além disso, a falta de gestão eficaz de resíduos sólidos e líquidos pode levar à perda de recursos valiosos que poderiam ser reciclados ou reutilizados, resultando em desperdício econômico. De acordo com o relatório da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), cerca de 45% das frutas e vegetais produzidos globalmente são perdidos ou desperdiçados. Esta perda inclui grandes quantidades de subprodutos como polpa, cascas e sementes, que frequentemente não são reaproveitados de maneira eficaz. Esses subprodutos têm o potencial de serem transformados em produtos de valor agregado, como coprodutos das indústrias de alimentos, farmacêutica e de cosméticos, contribuindo assim para uma economia circular e redução do impacto ambiental (FAO, 2021).

Portanto, uma abordagem integrada e sustentável para a gestão de resíduos é essencial, envolvendo políticas públicas eficazes, tecnologias adequadas de tratamento e conscientização da sociedade sobre a importância da redução, reutilização e reciclagem de resíduos.

A economia circular é um modelo de processo produtivo relativamente novo, propondo redefinições estruturais para o equilíbrio entre a sustentabilidade e prosperidade dos negócios. Enquanto o modelo econômico linear tradicional encoraja extrair, produzir, consumir e descartar os resíduos, a circular funciona como um sistema para manter produtos, componentes e materiais em uso direto ou indireto em vários ciclos. Na economia circular, o que seria resíduo na economia linear, é utilizado como ingrediente na elaboração de outros produtos. Portanto, a economia baseia-se no reinvestimento de insumos ou resíduos nos ciclos de criação ou, então, na reinvenção dele, por diferentes produtos. Por essas razões, a reciclagem, a remanufatura, a reparação, a recuperação e outras atividades são de vital importância uma vez que ela promove a minimização da geração de resíduos e da extração de recursos da natureza (LEITÃO, 2015; ABDALLA; SAMPAIO, 2018). Diversos segmentos industriais geram resíduos com potencial de serem utilizados na elaboração de coprodutos, entre eles destaca-se a indústria cervejeira.

No Brasil, o mercado cervejeiro é um dos mais importantes da América Latina, com uma grande variedade de marcas e tipos de cervejas produzidas. A indústria cervejeira tem crescido nos últimos anos, com a popularidade de cervejas artesanais e a procura por novos sabores e experiências. Além disso, a cerveja é uma das bebidas mais consumidas no país, seja em situações sociais ou para acompanhar as refeições.

No âmbito global, o mercado cervejeiro é um dos mais diversos e competitivos, com marcas estabelecidas e novas empresas entrando a cada ano. A cerveja é uma das bebidas mais populares no mundo, com grande presença em países como Alemanha, Bélgica, Áustria, República Checa, entre outros. Além disso, a cerveja artesanal ganhou popularidade em vários países, incluindo o Brasil, Estados Unidos e Austrália, oferecendo aos consumidores novos sabores e opções.

Além de ser uma das bebidas mais consumidas no mundo, a cerveja também é uma fonte significativa de emprego e geração de renda. A produção e distribuição de cerveja envolve vários setores, incluindo agricultura (para produção de malte e lúpulo), indústria de embalagens, transporte e comércio. Além disso, a cerveja é frequentemente associada a eventos sociais e culturais, como festivais de cerveja e bares.

Ao longo do processo produtivo cervejeiro alguns resíduos são gerados, entre eles o principal é o bagaço de malte, responsável por cerca de 85% de todo o resíduo gerado na cervejaria, sendo considerado um subproduto de baixo valor agregado, mas com grande potencial de ser utilizado como ingrediente em coprodutos tendo em sua composição 30% proteínas e 65% de fibras. Outros resíduos relevantes são o *trub* grosso e fino, obtidos ao final da fervura e da maturação, respectivamente (REINOLD, 1997).

Homólogo a outras indústrias, também existe uma cobrança para redução do descarte de resíduos dentro da indústria cervejeira e a busca por parte dos fabricantes de uma maneira de agregar valor ao subproduto. Alinhado a essas duas vontades é que o reaproveitamento

se torna uma das alternativas mais viáveis e utilizadas para amortizar os impactos ambientais causados pelo seu descarte incorreto. Vale ressaltar que o subproduto é um material secundário gerado durante um processo produtivo cujo foco principal é a obtenção de outro produto, com menor valor econômico, porém potencial para ser reutilizado ou reciclado. Em contraste, o coproduto é um material produzido simultaneamente ao produto principal, ambos com valor econômico relevante, sendo fundamentais para a sustentabilidade econômica do processo (GUARNIERI; SILVA; LEVINO, 2016).

No setor cervejeiro, a implementação da economia circular pode ser realizada por meio de práticas sustentáveis e tecnologias inovadoras, que melhoram o uso de recursos e diminuem o impacto ambiental. A gestão de resíduos também é aprimorada com a reutilização de subprodutos cervejeiros para a produção de biocompostos, produtos secundários, entre outros. Essas práticas não apenas reduzem os impactos ambientais, mas também aumentam a eficiência econômica e a competitividade da indústria cervejeira, mostrando que a economia circular pode trazer benefícios significativos para diversos setores, incluindo o de alimentos e bebidas (JACKOWSKI *et al.*, 2020; ARANTES *et al.*, 2024).

Economia circular no processo produtivo de cerveja

A transição para uma economia circular no setor cervejeiro exige uma reconfiguração dos processos produtivos, incluindo a otimização dos insumos e implementação de práticas que permitam a cogeração de recursos. Por esse modo, a integração de novas tecnologias e processos que suportem a circularidade sem comprometer a eficiência econômica são um dos principais desafios enfrentados pelo setor. Estudos indicam que a inovação tecnológica, combinada com a gestão estratégica de resíduos, pode trazer benefícios significativos,

como a redução de custos operacionais e a criação de novos fluxos de receita, enquanto promove a sustentabilidade ambiental (LIEDER; RASHID, 2016; KIRCHHERR; REIKE; HEKKERT, 2017).

A implementação de práticas circulares também envolve um esforço colaborativo entre diferentes atores da cadeia produtiva, incluindo fornecedores, fabricantes e consumidores. Portanto, o planejamento de estratégias de economia circular requer a criação de novos modelos de negócios, que considerem o ciclo de vida completo dos produtos e materiais utilizados na produção de cerveja. Além disso, políticas públicas e incentivos regulatórios desempenham um papel crucial ao fomentar a adoção de práticas sustentáveis, facilitando a transição para um modelo de economia circular que pode ser replicado em outras indústrias. Dessa forma, a economia circular na produção de cerveja não só beneficia o meio ambiente, mas também contribui para a inovação e a resiliência econômica do setor (MURRAY; SKENE; HAYNES, 2017).

Propostas de aplicação para economia circular com subprodutos de cervejaria

Bagaço de malte

O bagaço de malte, principal resíduo da produção de cerveja, vem sendo amplamente explorado como matéria-prima para a produção de diversos produtos com potencial comercial. Esse subproduto pode ser utilizado na produção de etanol de segunda geração, bioplásticos, produtos panificados, carvão ativado e biogás por digestão anaeróbica (FORKISH, 2012; BHATNAGAR *et al.*, 2013; LIGUORI *et al.*, 2015; VITANZA *et al.*, 2016; MARTINS, 2020). A reutilização do bagaço de malte em diferentes processos industriais apresenta oportunidades para agregar valor a esse resíduo, promovendo a sustentabilidade e contribuindo para a redução de desperdícios no setor cervejeiro.

Etanol de segunda geração

O bagaço de malte possui um alto teor de fibras, carboidratos e proteínas, características que o tornam um material promissor na elaboração de coprodutos. Tradicionalmente, o bagaço de malte é descartado ou utilizado como ração animal, mas esse resíduo lignocelulósico tem atraído atenção como matéria-prima para a produção de biocombustíveis, em especial o etanol de segunda geração, devido ao seu potencial de valorização e redução de impactos ambientais. (LIGUORI *et al.*, 2015).

Rojas-Chamorro *et al.* (2020) submeteram o bagaço de malte a um pré-tratamento com ácido fosfórico diluído, visando a liberação de açúcares fermentáveis. As condições otimizadas, de 155 °C e 2% de ácido fosfórico, permitiram a recuperação de 92% dos açúcares totais presentes no material, sendo 63% solubilizados no pré-hidrolisado. Esses açúcares, compostos principalmente por hemiceluloses e glicose, foram fermentados pela bactéria *Escherichia coli*, resultando em um rendimento de 0,40 g de etanol por grama de açúcar. Combinando o processo de sacarificação e fermentação simultânea dos açúcares remanescentes da estrutura celulósica, o rendimento total foi de 17,9 g de etanol por 100 g de bagaço de malte bruto, convertendo 69% do total de açúcares em etanol. Os resultados demonstram a eficiência do método e seu potencial para aplicação em larga escala.

Liguori *et al.* (2015) utilizaram o bagaço de malte pré-tratado com ácido sulfúrico a 120 °C por 17 min, seguido de hidróxido de sódio também a 120 °C por 90 min, para avaliar sua viabilidade na produção de etanol. Após a hidrólise enzimática, obteve-se um hidrolisado com concentração de glicose de 75 g/L, posteriormente diluído para 50 g/L antes da fermentação. Utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, foram alcançados 12,79 g de etanol por litro de hidrolisado ou 0,28 g de etanol por grama de glicose consumida, correspondendo a uma eficiência de 55%. A suplementação do meio com extrato de levedura mostrou-se essencial para aumentar a produtividade,

reduzindo o tempo de fermentação e aumentando a taxa volumétrica de 0,25 g/L·h para 0,53 g/L·h. Esses dados ressaltam a importância de ajustes no processo para otimização da conversão de açúcares em etanol utilizando bagaço de malte.

Os dois estudos concluem que o bagaço de malte pode ser eficientemente transformado em etanol de segunda geração, utilizando diferentes técnicas de pré-tratamento e fermentação. Ambos demonstraram altos rendimentos e reforçaram a relevância do reaproveitamento desse subproduto no contexto da economia circular, promovendo a redução de resíduos e a produção de biocombustíveis renováveis.

Carvão ativado

Materiais com alto teor de lignina, celulose e hemicelulose são excelentes alternativas para a fabricação de carvão ativado, pois esses componentes contribuem para a formação de uma estrutura carbonosa estável e porosa durante o processo de ativação, favorecendo a adsorção de substâncias. O bagaço de malte, rico nesses compostos, destaca-se como uma matéria-prima abundante e de baixo custo, amplamente disponível como subproduto da indústria cervejeira, sendo uma solução sustentável e eficiente para a produção de materiais adsorventes de alto desempenho (MUSSATTO; ROBERTO, 2006).

Mussatto *et al.* (2010) prepararam diferentes tipos de carvão ativado por ativação química com ácido fosfórico (H_3PO_4), variando a proporção de ácido e lignina juntamente com a temperatura de carbonização.

O estudo indicou que a melhor performance foi obtida com impregnação de 3 g de ácido fosfórico (H_3PO_4) por grama de lignina e carbonização a 600 °C. Os materiais obtidos apresentaram características comparáveis às de produtos comerciais, com áreas superficiais entre 33 e 692 m²/g e volumes de poros entre 0,058 e 0,453 cm³/g, mostrando alta capacidade de adsorção de íons metálicos (Ni,

Fe, Cr e Si) e compostos fenólicos presentes no hidrolisado hemice-lulósico do bagaço de malte.

Barbosa *et al.* (2022) também estudaram a utilização de bagaço de malte para produção de carvão ativado. A condição empregada foi a carbonização hidrotérmica por 4 horas a 175 °C e utilização de hidróxido de potássio (KOH) como agente ativador.

Na Tabela 1 pode-se observar um comparativo entre a eficiência de adsorção para o corante azul de metileno em carvão ativado obtido de diferentes amostras, em comparação ao utilizado comercialmente. Fatores dimensionais como área superficial, volume total de poros e diâmetro médio do poro também são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Eficiências de adsorção para o corante azul de metileno e propriedades texturais dos carvões ativados

Amostra	Eficiência de adsorção (%)	Área superficial (BET) (m ² /g)	Volume total de poros (cm ³ /g)	Diâmetro médio do poro (nm)
Bagaço de malte	73,69	1,86	-	-
Hidrocarvão	71,53	3,1	0,0186	0,24
KOH_A	94,22	555,4	0,2796	2,01
KOH_B	95,39	595,3	0,3579	2,4
H3PO4_A	43,21	20,07	0,0182	3,63
H3PO4_B	77,24	159,3	0,1335	3,35
ZnCl2_A	60,97	260	0,1672	2,57
ZnCl2_B	89,1	444,7	0,3578	3,22
Carvão ativado comercial	74,63	-	-	-

Fonte: Adaptado de BARBOSA *et al.* (2022).

Legenda: A = proporção 1:1; B = proporção 2:1.

Os ensaios de adsorção, realizados por meio de espectrofotometria, indicaram que os carvões ativados obtidos a partir do bagaço de

malte possuem potencial comparável ao carvão ativado comercial, especialmente na adsorção de corantes, procedimento importante na indústria para o tratamento de águas residuais, purificação de efluentes e também tratamento de ar, removendo vapores orgânicos e odores associados ao processo de coloração. Com base nesses resultados, conclui-se que o bagaço de malte é um material promissor para a produção de adsorventes alternativos, oferecendo uma opção sustentável e eficiente para aplicações industriais (BARBOSA *et al.*, 2022).

Alimentos

O bagaço de malte também possui um grande potencial na produção de alimentos funcionais e nutritivos. Entre as possibilidades de aproveitamento, destaca-se o uso do bagaço de malte na produção de panificados, como pães, bolos e biscoitos. Por meio de processos como fermentação e incorporação direta à massa, o bagaço pode agregar valor nutricional e funcional aos produtos finais, além de contribuir para a textura e o sabor dos alimentos (FORKISH, 2012).

Vriesekoop *et al.* (2021) demonstraram que o bagaço de malte de cervejarias pode ser utilizado como substrato sólido para cultivo de culturas de fermentação natural (sourdough). Pães sourdough são pães feitos com fermentação natural, utilizando um fermento composto por uma cultura viva de leveduras e bactérias lácticas, conhecido como starter ou massa madre. Esse tipo de pão é valorizado por seu sabor mais complexo, levemente ácido, devido à presença de ácidos láctico e acético produzidos durante a fermentação, além de sua textura e aroma característicos (FORKISH, 2012).

Nos testes de panificação, observou-se que o aumento da proporção de malte fermentado na formulação resultou em maior formação de ácido láctico e acético. A concentração desses ácidos variou de 43,44 mmol/kg de ácido láctico e 15,33 mmol/kg de ácido acético com 5% de malte fermentado. Esses valores aumentaram para 93,44 mmol/kg de ácido láctico e 56,17 mmol/kg de ácido acético com 20% de malte

fermentado. Ao comparar essas concentrações com os valores encontrados em pães sourdough disponíveis no mercado, identificou-se uma faixa típica de 45,05 mmol/kg de ácido láctico e 21,83 mmol/kg de ácido acético. Com base nesses resultados, os autores concluíram que as formulações contendo até 10% de farinha de malte fermentado em relação à farinha de trigo foram as que mais se aproximaram das características dos produtos comerciais (VRIESEKOOOP, 2021).

O bagaço de malte apresenta um perfil nutricional rico, com alto teor de fibras insolúveis e antioxidantes, o que o torna um ingrediente funcional interessante para produtos de panificação, como é o caso do cupcake, pequenos bolos individuais, geralmente assados em formas pequenas, conhecidos por sua versatilidade e praticidade. Os cupcakes podem ser adaptados a uma ampla gama de sabores e coberturas, tornando-os populares tanto em ocasiões especiais quanto como uma sobremesa ou lanche cotidiano (MUSSATTO; ROBERTO, 2006).

Rech e Zorzan (2017) estudaram o reaproveitamento dos resíduos da indústria cervejeira (bagaço de malte e levedura residual) na formulação de cupcakes. O bagaço de malte foi seco em estufa a 70 °C, a levedura residual passou por centrifugação, lavagem e secagem a 30 °C por 24 horas. Após esses processos, ambos os resíduos foram moídos e peneirados, resultando em farinhas utilizadas nas formulações dos cupcakes (RECH; ZORZAN, 2017).

No estudo, foram testadas quatro formulações: a formulação controle (FC), com 100% de farinha de trigo; uma com 92% de farinha de trigo e 8% de farinha de bagaço de malte (F2); outra com 92% de farinha de trigo e 8% de farinha de levedura residual (F3), e uma com 84% de farinha de trigo, 8% de farinha de bagaço de malte e 8% de farinha de levedura residual (F4) (RECH; ZORZAN, 2017).

As análises físico-químicas revelaram que a F3, onde foi incorporada apenas a farinha de levedura, foi a que apresentou maior teor proteico, 5,57 g para cada 100g de bolo, comparado a 4,92 e 4,59 g/100g para a F1 e F2, respectivamente. Já em relação às fibras, as formulações 2 e 4, que continham a farinha de bagaço de malte, foram

as que apresentaram maior concentração, 19,2% comparado aos 0,2% das formulações 1 e 3 (RECH; ZORZAN, 2017).

Na avaliação sensorial, realizada com 100 consumidores, a F4, que combinou as três farinhas (trigo, bagaço de malte e levedura residual) foi a mais aceita, destacando-se em atributos como cor, sabor e textura. Todas as formulações tiveram boa aceitação sensorial, mas a combinação de farinhas de bagaço de malte e levedura residual se mostrou particularmente promissora, sugerindo potencial para aplicações comerciais (RECH; ZORZAN, 2017).

Seguindo essa mesma vertente, Baiano *et al.* (2023) estudaram a fabricação de pães utilizando bagaço de cervejaria. Foram analisadas 13 amostras de pães, sendo uma amostra controle e 12 amostras funcionais, contendo farinha de subproduto da cervejaria como substituto parcial da farinha de trigo Manitoba (variando de 20% a 25% de substituição). A amostra controle foi composta por 100% de farinha de trigo Manitoba, sem adição de farinha de subproduto. A farinha do bagaço de malte foi elaborada contendo 65% de cevada maltada e 35% de cereais não maltados. Os cereais não maltados utilizados foram trigo mole (*Triticum aestivum*, cv. Risciola), trigo duro (*Triticum durum*, cv. Dauno III) e trigo emmer (*Triticum dicoccum*) (BAIANO *et al.*, 2023).

Em relação aos aspectos físicos e químicos, os pães que receberam adição de subproduto da cervejaria apresentaram coloração mais escura na casca e no miolo, o que era esperado devido à cor do ingrediente adicionado. Essa mudança foi mais evidente nas amostras com maior porcentagem de substituição da farinha de trigo, já que a farinha de bagaço contribui para intensificar as reações de Maillard durante o processo de assamento, resultando em um tom mais dourado na crosta e um tom mais escuro no miolo.

Quanto ao teor de proteínas não extraíveis, o pão controle apresentou um percentual de 41%, enquanto os pães enriquecidos com farinha de bagaço apresentaram uma média de 39%, sem diferença

significativa entre as amostras, indicando que o uso do subproduto não prejudicou a formação da rede proteica (BAIANO *et al.*, 2023).

Sobre os teores de compostos antioxidantes, constatou-se um aumento significativo no conteúdo de polifenóis totais, que variou de 1,555 mg/g de pão no controle para valores de até 2,488 mg/g nos pães com adição da farinha de bagaço de malte. Esses compostos, reconhecidos por suas propriedades bioativas, oferecem benefícios potenciais tanto do ponto de vista nutricional quanto funcional, como aumento da atividade antioxidante e possíveis efeitos anti-inflamatórios. Além disso, a atividade antioxidante dos pães também aumentou proporcionalmente ao teor de polifenóis, alcançando até 3,45 mg Trolox/g nas amostras enriquecidas, em comparação com 0,36 mg Trolox/g no controle (BAIANO *et al.*, 2023).

Em relação aos teores de fibras, os pães enriquecidos apresentaram aumento nas frações insolúveis e solúveis. O conteúdo de fibras insolúveis aumentou para até 1,5%, enquanto as fibras solúveis apresentaram um acréscimo médio de 0,28%, quando comparados ao pão controle. Essas mudanças são atribuídas à composição rica em fibras do bagaço de malte, que pode contribuir para melhorias na saúde intestinal e para a produção de produtos de panificação com maior apelo funcional e nutricional (BAIANO *et al.*, 2023).

As características sensoriais foram analisadas por 10 avaliadores, sendo 5 homens e 5 mulheres, com idade entre 20 e 65 anos. Os atributos avaliados incluíram cor e espessura da crosta, cor, tamanho e desenvolvimento dos poros no miolo, aroma geral, intensidade de aromas específicos (como pão recém assado, trigo, malte e torrado), doçura, salinidade, acidez, amargor da crosta, e características táteis como crocância da crosta, resistência à mastigação, coesividade, fibrosidade e adesividade do miolo. A aceitação geral dos pães foi avaliada com base em uma escala de 0 (mínima) a 9 (máxima), considerando todos os atributos sensoriais analisados (BAIANO, 2023).

Os pães formulados com farinha de bagaço de malte contendo trigo mole (cv. Risciola) e trigo duro (cv. Dauno III) apresentaram

melhor aceitação sensorial, destacando-se pela textura equilibrada, aroma agradável e características sensoriais próximas ao pão controle. Por outro lado, os pães produzidos com farinha de bagaço contendo trigo emmer (*Triticum dicoccum*) apresentaram menor aceitação, devido à menor coesividade, maior fibrosidade e intensidade de aromas menos familiares aos consumidores, como o aroma característico do trigo emmer. Essas diferenças refletem a composição química distinta das farinhas utilizadas, como o maior conteúdo de fibras insolúveis e fenólicos no trigo emmer, que influencia negativamente a textura e o sabor geral do produto (BAIANO *et al.*, 2023).

Os aspectos mais aceitos incluíram a coesividade e a maciez do miolo, que foram superiores nos pães de farinha de bagaço de malte com trigo mole e duro. Esses pães também tiveram alta pontuação em intensidade geral de aroma, especialmente no cheiro de pão fresco e no aroma tostado, atributos que atingiram valores superiores a 8 na escala sensorial. A combinação desses fatores com uma textura equilibrada e uma crosta crocante contribuiu para uma alta avaliação da qualidade geral, com pontuações semelhantes às do pão controle (8,5) (BAIANO *et al.*, 2023).

Em conclusão, os pães enriquecidos com bagaço de malte e cereais não maltados, com exceção do trigo emmer, mostraram melhor equilíbrio entre benefícios funcionais e aceitação sensorial, enquanto os de trigo emmer, embora ricos em fibras e compostos bioativos, enfrentaram desafios sensoriais relacionados à textura e aroma (BAIANO *et al.*, 2023).

Bioplástico

A crescente preocupação ambiental com a dependência de plásticos derivados de petróleo tem impulsionado a busca por alternativas sustentáveis, como os bioplásticos. Esses materiais, produzidos a partir de fontes renováveis, têm o potencial de reduzir o impacto ambiental e atender às demandas de um mercado que valoriza a economia circular

e a minimização de resíduos. Nesse contexto, o bagaço de malte desponta como uma matéria-prima promissora (MARTINS, 2020).

Rico em fibras, proteínas e carboidratos, o bagaço de malte combina características químicas e físicas que podem ser exploradas para a formulação de bioplásticos. Além de agregar valor a um resíduo abundante e, muitas vezes, descartado de maneira inadequada, essa abordagem alia inovação tecnológica à sustentabilidade (MARTINS, 2020).

Arantes *et al.* (2024) estudaram a produção de bioplástico a partir do bagaço de malte como uma forma de aplicação da economia circular no âmbito de uma cervejaria. O trabalho se iniciou com a secagem do bagaço do malte a 100 °C por 48h e, em seguida, a moagem em moedor de disco. Após moído, foi feita a obtenção da lignina e da celulose. O amido termoplástico foi preparado, para obter a melhor combinação, os autores prepararam biopolímeros a partir de diferentes concentrações de amido, glicerol e bagaço de malte.

Os biopolímeros foram obtidos a partir de mistura contendo amido, glicerol e água, que foi submetida a aquecimento a 80 °C, sob agitação magnética constante, durante 80 minutos, com o intuito de promover a gelatinização do amido e a concentração da solução. Após o processo de gelatinização, a solução foi deixada em repouso por 48 horas para permitir a formação do filme. Os biopolímeros foram produzidos utilizando bagaço de malte sem tratamento, holocelulose e celulose extraídas do mesmo bagaço (ARANTES, 2024).

A aplicação do bagaço de malte na formulação de bioplásticos trouxe melhorias significativas em diversas propriedades dos filmes produzidos. A adição de celulose extraída do bagaço resultou em um material mais rígido e resistente, destacando-se por sua capacidade de reduzir a umidade e a solubilidade dos filmes. Esses efeitos são especialmente relevantes para aplicações que exigem maior durabilidade e estabilidade em ambientes úmidos, como embalagens para transporte ou armazenamento de produtos sensíveis. Além disso, a presença do bagaço conferiu aos filmes uma estrutura mais densa, aumentando sua resistência térmica (ARANTES, 2024).

Por outro lado, os filmes contendo bagaço não tratado ou holocelulose apresentaram maior rugosidade e heterogeneidade em sua composição, o que influencia diretamente a aparência e o desempenho mecânico do material. Essa característica, no entanto, pode ser vantajosa em aplicações menos exigentes, em que a aparência visual não é prioridade. A combinação do bagaço de malte com glicerol demonstrou uma interação sinérgica, com o glicerol atuando como plastificante e o bagaço contribuindo para a rigidez e redução da absorção de água (ARANTES, 2024).

Os testes de biodegradabilidade evidenciaram que a adição do bagaço também influencia a taxa de decomposição dos bioplásticos. Filmes com maior proporção de bagaço apresentaram degradação mais lenta em comparação com aqueles contendo apenas amido e glicerol, o que sugere sua adequação para usos que demandam maior vida útil. Assim, o uso do bagaço de malte não apenas melhora as propriedades funcionais dos bioplásticos, mas também amplia seu potencial de aplicação, promovendo uma solução sustentável para o reaproveitamento de resíduos da indústria cervejeira (ARANTES, 2024).

2.1.1.5 – Digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia é um processo biológico no qual microrganismos convertem matéria orgânica em biogás, composto majoritariamente por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2). Esse biocombustível renovável pode ser utilizado para geração de energia elétrica, térmica ou como substituto do gás natural. No contexto da economia circular, o aproveitamento dos resíduos da indústria cervejeira para a produção de biogás apresenta uma solução sustentável para a gestão de resíduos e redução da pegada de carbono (MUSSATTO; DRAGONE; ROBERTO, 2006).

Vitanza *et al.* (2016) investigaram o potencial de biometação do bagaço de malte e da levedura exaurida, avaliando parâmetros como

produção específica de metano e taxas de solubilização e hidrólise, por meio de testes de batelada em reatores anaeróbios.

O bagaço de malte apresentou uma produção específica de metano de 0,284 L de CH₄ por grama da demanda química de oxigênio, correspondendo a uma eficiência de conversão de 81,1%. Já a levedura exaurida gerou 0,255 L de CH₄ por grama da demanda química de oxigênio, com eficiência de conversão de 72,9%. Os valores mais altos de produção específica de metano para o bagaço de malte estão associados ao seu balanço de Carbono/Nitrogênio mais adequado e à maior fração de carboidratos e lignina. Em relação ao índice de solubilidade, a levedura apresentou um resultado de 0,659 d⁻¹, sendo significativamente maior do que para o malte (0,224 d⁻¹), indicando que a levedura exaurida tem uma taxa mais rápida de solubilização (VITANZA *et al.*, 2016).

Vitanza *et al.* (2016) concluíram que os resíduos da indústria cervejeira, especificamente o bagaço de malte e a levedura, apresentam potencial significativo para a produção de biogás por digestão anaeróbia. O bagaço destacou-se pelo alto rendimento de metano e pela eficiência de conversão, enquanto a levedura demonstrou uma taxa de solubilização mais rápida, tornando-a adequada para aplicações em co-digestão.

Trub grosso

O *trub* grosso (também chamado de *trub* quente), formado durante a etapa de fervura na produção de cerveja, é composto majoritariamente por proteínas coaguladas, polifenóis, carboidratos, lipídios e resíduos de lúpulo (Briggs *et al.*, 2004). Estudos destacam seu potencial em diversas aplicações, proteínas para produção de bioplásticos (McCarthy *et al.*, 2013), lipídios para biodiesel (Carvalho *et al.*, 2017) e fibras para embalagens biodegradáveis (Santos *et al.*, 2003). Além disso, há estudos que comprovam sua viabilidade como ingrediente

para enriquecimento nutricional em alimentos e como fonte de compostos bioativos para aplicações cosméticas.

Ingredientes para alimentos

A utilização de subprodutos da indústria cervejeira, como o *trub*, tem ganhado destaque na busca por soluções que aumentem o valor nutricional dos alimentos. O *trub*, rico em proteínas e fibras, precisa passar por um processo de debitterização, um processo amplamente utilizado na indústria alimentícia para reduzir ou eliminar compostos responsáveis pelo gosto amargo. Este processo foi essencial para melhorar a aceitação sensorial do *trub*, preservando suas características nutricionais e funcionais para ser utilizado em alimentos. No estudo de Lomuscio *et al.* (2022), investigou-se a incorporação de pó de *trub* debitterizado (PTD) em pasta fresca de trigo duro.

O PTD foi obtido a partir de *trub* fresco por meio de filtração e debitterização com água aquecida. A semolina de trigo duro foi misturada com 5%, 10% e 15% de PTD, resultando em quatro formulações de pasta. As pastas foram avaliadas quanto à composição nutricional, digestibilidade *in vitro* do amido e das proteínas, propriedades tecnológicas, como perda de cozimento e textura, e análise sensorial com painel treinado (LOMUSCIO *et al.*, 2022).

A adição de PTD aumentou os teores de proteínas e de fibras nas pastas, com maior incremento na formulação com 15% de PTD (máximo estudado). A digestibilidade *in vitro* do amido foi reduzida, principalmente na PT15, indicando menor impacto glicêmico. A proteína mostrou maior digestibilidade, especialmente na PT15. Em termos tecnológicos, houve aumento na perda de cozimento e na firmeza da pasta com a inclusão de PTD. As pastas com 5% e 10% de PTD apresentaram melhor aceitação sensorial, enquanto a PT15 foi menos aceita devido a mudanças no sabor e na textura (LOMUSCIO *et al.*, 2022).

O pó de *trub* debitterizado demonstrou ser um ingrediente promissor, aumentando o valor nutricional da pasta de trigo duro até níveis de 10% de substituição. No entanto, a inclusão de 15% de PTD afetou negativamente a aceitabilidade sensorial. Portanto, recomenda-se a utilização de até 10%, para otimizar os benefícios nutricionais sem prejudicar a experiência do consumidor (LOMUSCIO *et al.*, 2022).

Cosméticos

O *trub* grosso possui alta concentração de compostos bioativos, como proteínas, polifenóis e flavonoides, além de apresentar propriedades antioxidantes e atóxicas. A necessidade de alternativas sustentáveis e a busca por matérias-primas naturais para a indústria cosmética tornam este subproduto promissor para formulações que atuem na prevenção do envelhecimento cutâneo, uma vez que os antioxidantes combatem os radicais livres responsáveis pelos danos oxidativos da pele (PRADO, 2021).

Prado (2021) buscou avaliar o potencial do *trub* como ingrediente bioativo para cosméticos. A metodologia envolveu a coleta do *trub* em uma microcervejaria artesanal, seguida de secagem em estufa a 50 °C e moagem até obtenção de um pó fino. Para a extração dos compostos bioativos, utilizou-se água como solvente, com agitação controlada por 24 horas. Foram realizadas análise de compostos fenólicos totais, atividade antioxidante, flavonoides e toxicidade.

Os resultados demonstraram que o *trub* apresenta teores significativos de compostos fenólicos (5,15 mg EAG/g) e flavonoides (1,11 mg EQ/g), porém, a atividade antioxidante foi considerada baixa (EC50 de 1228,06 mg/mL), possivelmente devido à limitação do solvente aquoso na extração dos compostos bioativos. O teste de toxicidade indicou que o *trub* é atóxico, uma vez que a concentração letal média (CL50) foi superior a 1000 µg/mL (PRADO, 2021).

O *trub* grosso representa uma fonte promissora de compostos bioativos com aplicações potenciais na indústria cosmética, devido à sua atoxicidade e presença de compostos antioxidantes. Apesar da baixa atividade antioxidante observada, suas características bioquímicas podem ser exploradas em formulações cosméticas, especialmente com o emprego de solventes mais eficientes e técnicas de extração otimizadas, visando maior valor agregado (PRADO, 2021).

Os métodos de extração propostos para o aproveitamento do *trub* grosso incluem técnicas *ecofriendly*, como extração assistida por ultrassom e extração com fluidos supercríticos. Estas técnicas permitem a recuperação eficiente de compostos bioativos, minimizando o uso de solventes químicos prejudiciais. Estudos indicam que os extratos obtidos apresentam atividades antioxidantes e antimicrobianas significativas, o que reforça o potencial do *trub* como fonte de ingredientes funcionais para diversos setores (PEREIRA; SANTOS; SOUSA, 2022).

Os resultados obtidos até o momento evidenciam o alto teor de compostos fenólicos no *trub* grosso, que contribuem para suas propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias. Em aplicações cosméticas, os extratos derivados deste subproduto demonstraram efeitos positivos em modelos de queratinócitos humanos, reduzindo a formação de espécies reativas a oxigênio e promovendo a proteção contra o estresse oxidativo. Essas propriedades indicam um potencial promissor para o uso do *trub* em formulações de cosméticos para a pele (PEREIRA; SANTOS; SOUSA, 2022).

Bioteecnologias

O *trub* grosso é um subproduto rico em compostos orgânicos, possuindo um potencial para ser valorizado em diversas aplicações, como a extração de biomoléculas e síntese de nanopartículas. Estudos recentes destacam aplicação em materiais precursores a novas tecnologias,

alinhando-se aos princípios da economia circular e a química verde (BOSCO *et al.*, 2017; DAS *et al.*, 2022).

Métodos específicos foram desenvolvidos no estudo de Bosco *et al.* (2017) para otimizar a extração de componentes valiosos do *trub* grosso, com destaque para biomacromoléculas, como ácidos nucleicos e proteínas. Os procedimentos incluem etapas de extração química, centrifugação e filtração, visando maximizar os rendimentos e a pureza das substâncias recuperadas. O estudo demonstra que os compostos extraídos podem ser aplicados em revestimentos retardantes de chama, com eficácia comparável a materiais comerciais (BOSCO *et al.*, 2017).

Os resultados obtidos por Bosco *et al.* (2017) indicam que os ácidos nucleicos derivados do *trub* grosso oferecem uma proteção significativa quando aplicados em substratos como tecidos de algodão, aumentando a resistência ao fogo e reduzindo a taxa de combustão. Além disso, a qualidade dos extratos demonstra viabilidade para outras aplicações, reforçando o potencial técnico e econômico do reaproveitamento desse resíduo (BOSCO *et al.*, 2017).

Das *et al.* (2022) utilizaram resíduos de lúpulo para a síntese de nanopartículas de prata, explorando compostos bioativos presentes no *trub* grosso como agentes redutores e estabilizantes. A metodologia incluiu a extração dos compostos ativos do resíduo e sua interação com uma solução de nitrato de prata, seguida por etapas de centrifugação e caracterização. Técnicas avançadas, como microscopia eletrônica e espectroscopia de infravermelho, confirmaram as propriedades estruturais e químicas do material produzido.

As nanopartículas obtidas apresentaram tamanhos uniformes entre 10 e 40 nm e alta estabilidade. O *trub* grosso demonstrou eficiência como agente estabilizador, atribuído à presença de polifenóis, terpenos e flavonoides. Os resultados indicaram atividades antibacterianas significativas contra cepas de *E. coli* e *S. aureus*, além de baixa citotoxicidade em células normais, reforçando seu potencial para aplicações biomédicas e ambientais (DAS *et al.*, 2022).

Costa *et al.* (2020) verificaram a existência de compostos que possuem propriedades antioxidantes e antimicrobianas no *trub* grosso, o que torna seu reaproveitamento uma alternativa promissora para aplicações biotecnológicas e industriais. Os métodos empregados para explorar o potencial do *trub* grosso envolveram extrações assistidas por ultrassom utilizando etanol como solvente, seguidas por fracionamento líquido-líquido.

Foram identificados compostos como xantohumulol, isoxantohumulol e ácidos alfa e beta transformados. A atividade antioxidante foi avaliada pelos métodos DPPH e ABTS, destacando-se a fração de acetato de etila pelo seu menor valor de EC50, indicando maior capacidade antioxidante. Além disso, a fração hexânica demonstrou significativa atividade antimicrobiana contra bactérias gram-positivas, incluindo *Staphylococcus aureus* e *Listeria monocytogenes* (COSTA *et al.*, 2020).

Os resultados também apontaram que o *trub* grosso possui baixa citotoxicidade, tornando-o adequado para aplicações biológicas. A presença de compostos bioativos com propriedades antioxidantes e antimicrobianas reforça o potencial do *trub* estudado como um ingrediente funcional. Além disso, o estudo sugere que há uma sinergia entre as frações que pode amplificar seus efeitos biológicos, oferecendo novas oportunidades para o desenvolvimento de produtos naturais e sustentáveis (COSTA *et al.*, 2020). Assim, nota-se que o *trub* grosso é um recurso valioso para aplicações biotecnológicas, destacando-se como fonte de compostos antioxidantes e antimicrobianos naturais (COSTA *et al.*, 2020).

Controle de Pragas

Bedini *et al.* (2015) investigaram a utilização do *trub* grosso para fornecer matéria-prima na elaboração de repelentes naturais e aditivos para solos agrícolas, para o controle de pragas. As análises demonstraram que o *trub* grosso apresenta alto teor de terpenos, substâncias

com reconhecida atividade antimicrobiana e potencial de aplicação em soluções de controle de pragas. Tais propriedades tornam o *trub* um recurso viável para substituir insumos sintéticos, contribuindo para práticas agrícolas mais ecológicas e sustentáveis no controle de pragas (BEDINI *et al.*, 2015).

Trub fino

O *trub* fino (também chamado de *trub* frio), formado durante o resfriamento do mosto e a maturação da cerveja, é caracterizado majoritariamente por leveduras residuais, além de proteínas desnaturadas, polifenóis, ácidos graxos e resíduos de lúpulo. Estudos como os de Briggs (2004) e Colpo, Funck e Lopes (2021) destacam que, mesmo após processos de separação, a levedura residual mantém características químicas associadas ao *trub* fino. O *trub* fino vem sendo utilizado em processos biotecnológicos, aplicados como probióticos e agentes biopreservantes e manejo integrado de pragas.

Biotecnologia

A levedura residual de cervejaria, contendo aproximadamente 45-50% de proteínas totais em base seca, configura-se como uma fonte viável de compostos nitrogenados para o cultivo de determinadas culturas microbianas (RAMOS, 2009). Souza *et al.* (2017) demonstraram a viabilidade do uso do extrato de levedura residual no cultivo submerso de *Bacillus* sp., utilizando três fontes diferentes de nitrogênio: Meio A (extrato de levedura comercial), Meio B (extrato de levedura residual cervejeira com sulfato de amônio) e Meio C (extrato de levedura residual cervejeira puro). Os cultivos foram realizados em frascos Erlenmeyer, e foram avaliados o crescimento microbiano, além de parâmetros cinéticos, como produtividade (Px) e fator de conversão (Yx/s). O processamento do resíduo inclui etapas como

desamargamento, autólise e centrifugação, resultando em um extrato solúvel rico em compostos nitrogenados.

O extrato de levedura residual cervejeira apresentou em sua caracterização 4,5% de nitrogênio total e 39% de proteína total e pH de 6,41. Os meios com levedura residual cervejeira (Meios B e C) proporcionaram maior produtividade celular (Px) de *Bacillus* sp. e fatores de conversão (Yx/s) semelhantes ao cultivo com meio A (controle).

Em conclusão, o estudo de Souza *et al.* (2017) revelou que o uso do extrato de levedura residual de cervejaria, com ou sem adição de sulfato de amônio, favoreceu o crescimento de *Bacillus* sp., com produtividades superiores às obtidas com extrato de levedura comercial. Estes resultados demonstram que a levedura residual pode ser uma alternativa sustentável e economicamente viável para substituir fontes comerciais de nitrogênio em cultivos microbianos (SOUZA *et al.*, 2017).

Probióticos e agentes biopreservantes

As leveduras provenientes de resíduos da fermentação de cerveja podem ser utilizadas como probióticos e agentes biopreservantes. Essa abordagem visa reintegrar esses resíduos como coprodutos na indústria alimentícia, promovendo um ciclo mais sustentável.

No estudo realizado por Sampaolesi *et al.* (2019), foram avaliadas as cepas *Saccharomyces cerevisiae* e *Pichia kudriavzevii*, cultivadas em três condições distintas: caldo YPD (extrato de levedura, peptona e dextrose), mosto de cerveja em escala laboratorial e resíduo da fermentação de cerveja (BFR). O principal objetivo foi investigar a viabilidade dessas leveduras na melhoria da segurança alimentar e na promoção da saúde intestinal.

As variáveis independentes do estudo foram as diferentes cepas e condições de cultivo, enquanto as variáveis dependentes envolveram a viabilidade das leveduras, a taxa de germinação dos fungos, capacidade de ligação à aflatoxina, avaliação da resistência das leveduras a

condições gastrointestinais simuladas, capacidade de inibir a germinação de fungos produtores de aflatoxinas (*Aspergillus flavus* e *Aspergillus parasiticus*) e sua eficiência na ligação e remoção da aflatoxina B1, uma das principais micotoxinas associadas a riscos à saúde humana (SAMPAOLESI *et al.*, 2019).

Os resultados demonstraram que as leveduras provenientes do resíduo da fermentação de cerveja apresentaram alta resistência às condições simuladas do trato gastrointestinal, inibiram significativamente a germinação dos fungos e removeram mais de 50% da aflatoxina B1 presente no meio. Esses achados reforçam o potencial do resíduo como uma fonte viável para o desenvolvimento de suplementos probióticos e agentes biopreservantes. Além disso, contribuem para a valorização de coprodutos oriundos de cervejarias (SAMPAOLESI *et al.*, 2019).

Manejo integrado de pragas

A busca por soluções sustentáveis para o manejo de pragas tem incentivado o reaproveitamento de resíduos industriais. Assim, a levedura residual, um subproduto do processo cervejeiro, foi estudado como base para a formulação de iscas proteicas. Estudos recentes exploraram seu potencial como atrativo e controle de *Drosophila suzukii*, uma praga que afeta culturas frutíferas. A levedura residual, ao ser hidrolisada enzimaticamente, demonstra propriedades químicas e voláteis que podem atrair eficientemente essas moscas, representando uma alternativa às iscas tradicionais (CAI *et al.*, 2019).

Cai *et al.* (2019) realizaram testes laboratoriais e de campo para avaliar a eficácia da isca proteica derivada da levedura residual em relação a outras iscas amplamente utilizadas, como soluções de vinagre e misturas de vinhos. As iscas foram testadas em armadilhas com concentrações variadas de proteínas, ácido acético e inseticidas, além de serem analisadas em diferentes condições ambientais e faixas de idade dos insetos. Além disso, foi avaliado o papel de estruturas

sensoriais dos insetos, como antenas e palpos, na percepção dos compostos voláteis emitidos pelas iscas (CAI *et al.*, 2019).

Os resultados mostraram que a isca derivada da levedura residual capturou significativamente mais indivíduos de *D. suzukii*, de ambos os sexos e em diferentes estágios de desenvolvimento, do que as iscas tradicionais. A adição de 20% de vinagre otimizou sua atratividade, enquanto o aumento de concentração de inseticidas reduziu a eficácia. Em condições de campo, a isca demonstrou elevado potencial de captura, com resultados consistentes em diversos horários do dia. Esses dados reforçam o potencial da levedura residual como um recurso econômico e sustentável para o manejo integrado de pragas (CAI *et al.*, 2019).

Conclui-se que a utilização da levedura residual oferece uma solução inovadora e de baixo custo para o controle de pragas, com aplicabilidade tanto para detecção precoce quanto para o manejo populacional de *D. suzukii*. Sua adoção pode reduzir o impacto ambiental associado ao uso de pesticidas, promovendo práticas agrícolas mais sustentáveis e eficientes. No entanto, estudos adicionais são necessários para validar sua eficácia em larga escala e em diferentes cenários agrícolas (CAI *et al.*, 2019).

Considerações finais

A implementação da economia circular exige a reconfiguração dos processos produtivos e a integração de novas tecnologias que suportem a circularidade sem comprometer a eficiência econômica. Estudos mostram que a inovação tecnológica e a gestão estratégica de resíduos podem reduzir custos e criar novos fluxos de receita, enquanto políticas públicas e incentivos regulatórios são essenciais para facilitar essa transição. A economia circular, portanto, não só contribui para a preservação ambiental, mas também para a inovação e resiliência

econômica do setor cervejeiro, servindo como um modelo que pode ser adaptado para outras indústrias.

O bagaço de malte, principal resíduo das cervejarias, pode ser utilizado em diversas aplicações, como a produção de biocombustíveis (bioetanol e biogás), materiais avançados (biocarvão e bioplásticos) e em alimentos com base de farinha (pães, cupcakes e bolos). A viabilidade dessas aplicações depende da implementação de processos tecnológicos eficientes, como pré-tratamentos hidrotermais e hidrólise enzimática, que enfrentam desafios relacionados à formação de inibidores e à viabilidade econômica. No entanto, as pesquisas indicam que, com avanços nesses processos, os resíduos cervejeiros podem ser transformados em produtos de valor agregado, promovendo a sustentabilidade. A incorporação de farinha de bagaço de malte na formulação de alimentos tem se mostrado promissor, elevando o teor de proteínas e fibras dos produtos sem comprometer a qualidade sensorial, quando concentrações adequadas são utilizadas.

Além disso, a extração de resíduos de lúpulo, presentes no *trub* grosso, permite obter materiais ricos em proteínas, que podem ser utilizados na indústria de alimentos, e extratos contendo resinas e óleos essenciais, com potencial para aplicações na indústria química e farmacêutica. A levedura residual, maior componente do *trub* fino, também mostra potencial para ser usada como suplemento probiótico e em aplicações industriais, como fonte de nitrogênio para o cultivo de micro-organismos e como pesticida. Integrar esses resíduos em uma economia circular é uma estratégia promissora para melhorar a sustentabilidade da produção cervejeira.

Referências

ABDALLA, F. A.; SAMPAIO, A. C. F. Os novos princípios e conceitos inovadores da economia circular. **Entorno Geográfico**, n. 15, p. 82-102, 2018.

- ARANTES, G. C. A.; SILVA, S. C. da; DUTRA, R. C.; DRUMMOND, A. L.; GHESTI, G. F. Utilização do bagaço de malte para preparação de bioplásticos: uma proposta de economia circular ao setor cervejeiro. **Química Nova**, v. 47, n. 7, 2024.
- BAIANO, A.; LA GATTA, B.; RUTIGLIANO, M.; FIORE, A. Functional bread produced in a circular economy perspective: the use of brewers' spent grain. **Foods**, v. 12, n. 4, 834, 2023.
- BEDINI, S.; FLAMINI, G.; GIRARDI, J., COSCI, F.; CONTI, B. Not just for beer: Evaluation of spent hops (*Humulus lupulus* L.) as a source of eco-friendly repellents for insect pests of stored foods. **Journal of pest science**, v. 88, p. 583-592, 2015.
- BHATNAGAR, A.; HOGLAND, W.; MARQUES, M.; SILLANPÄÄ, M. An overview of the modification methods of activated carbon for its water treatment applications. **Chemical Engineering Journal**, v. 219, p. 499-511, 2013.
- BOSCO, F.; CASALE, A.; GRIBAUDO, G.; MOLLEA, C.; MALUCELLI, G. Nucleic acids from agro-industrial wastes: a green recovery method for fire retardant applications. **Industrial Crops and Products**, v. 108, p. 208-218, 2017.
- BRIGGS, D. E. **Brewing: science and practice**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2004.
- CAI, P.; YI, C.; ZHANG, Q.; ZHANG, H.; LIN, J.; SONG, X.; CHEN, J. Evaluation of protein bait manufactured from brewery yeast waste for controlling *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 112, n. 1, p. 226-235, 2019.
- CARVALHO, D. O.; GONÇALVES, L. M.; GUIDO, L. F. Overall antioxidant properties of malt and how they are influenced by the individual constituents of barley and the malting process. **Comprehensive reviews in food science and food safety**, v. 15, n. 5, p. 927-943, 2016.
- COLPO, I.; FUNCK, V. M.; MARTINS, M. E. S. Waste management in craft beer production: study of industrial symbiosis in

- the southern Brazilian context. **Environmental Engineering Science**, v. 39, n. 5, p. 418-430, 2022.
- COSTA, F. S. F. *et al.* Reuse of hot trub as an active ingredient with antioxidant and antimicrobial potential. **Waste and Biomass Valorization**, v. 12, p. 2037-2047, 2020.
- DAS, P.; DUTTA, T.; MANNA, S.; LOGANATHAN, S.; BASAK, P. Facile green synthesis of non-genotoxic, non-hemolytic organometallic silver nanoparticles using extract of crushed, wasted, and spent *Humulus lupulus* (hops): characterization, anti-bacterial, and anti-cancer studies. **Environmental Research**, v. 204, p. 111962, 2022.
- FAO. **Relatório sobre o estado da segurança alimentar e nutricional no mundo**. Roma: FAO, 2021. Disponível em: www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/1415324/. Acesso em: 28 ago. 2024.
- FORKISH, K. **Flour Water Salt Yeast: The Fundamentals of Artisan Bread and Pizza**. Portland: Ten Speed Press, 2012.
- GUARNIERI, P.; SILVA, L. C.; LEVINO, N. A. Analysis of electronic waste reverse logistics decisions using Strategic Options Development Analysis methodology: A Brazilian case. **Journal of Cleaner Production**, v. 133, p. 1105-1117, 2016.
- JACKOWSKI, M.; NIEDŹWIECKI, Ł.; JAGIEŁŁO, K.; UCHAŃSKA, O.; TRUSEK, A. Brewer's spent grains—valuable beer industry by-product. **Biomolecules**, v. 10, n. 12, p. 1669, 2020.
- KAZA, S.; YAO, L.; BHADA-TATA, P.; VAN WOERDEN, F. **What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050**. Washington, D.C.: World Bank, 2018.
- KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 127, p. 221-232, 2017.
- LEITÃO, A. Economia circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI. **Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting**, v. 1, n. 2, p. 149-171, 2015.

- LIEDER, M.; RASHID, A. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. **Journal of cleaner production**, v. 115, p. 36-51, 2016.
- LIGUORI, R.; SOCCOL, C. R.; VANDENBERGHE, L. P. S.; WOICIECHOWSKI, A. L.; FARACO, V. Second generation ethanol production from brewers spent grain. **Energies**, v. 8, p. 2575-2586, 2015. DOI: 10.3390/en8042575.
- LOMUSCIO, E.; BIANCHI, F.; CERVINI, M.; GIUBERTI, G.; SIMONATO, B.; RIZZI, C. Durum wheat fresh pasta fortification with trub, a beer industry by-product. **Foods**, v. 11, n. 16, p. 2496, 2022.
- MARTINS, M. F. S. **Poluição por Plástico: A Crise Ambiental e as Políticas Europeias e Nacionais**. 2020. Dissertação (Mestrado) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2020.
- MCCARTHY, A. L.; O'CALLAGHAN, Y. C.; PIGGOTT, C. O.; FITZGERALD, R. J.; O'BRIEN, N. M. Brewers' spent grain; bioactivity of phenolic component, its role in animal nutrition and potential for incorporation in functional foods: a review. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 72, n. 1, p. 117-125, 2013.
- MUSSATTO, S. I. *et al*. Production, characterization and application of activated carbon from brewer's spent grain lignin. **Biore-source Technology**, v. 101, n. 7, p. 2450-2457, 2010.
- MUSSATTO, S. I.; DRAGONE, G.; ROBERTO, I. C. Brewers' spent grain: generation, characteristics and potential applications. **Journal of Cereal Science**, v. 43, n. 1, p. 1-14, 2006.
- MUSSATTO, S. I.; ROBERTO, I. C. Chemical characterization and liberation of pentose sugars from brewer's spent grain. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 81, p. 268-274, 2006.
- MURRAY, A.; SKENE, K.; HAYNES, K. The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. **Journal of Business Ethics**, v. 140, p. 369-380, 2017.

- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **OMS divulga novas estatísticas mundiais de saúde**. Genebra, 2022. Disponível em: <https://www.who.int>. Acesso em: 28 ago. 2024.
- PEREIRA, O. R.; SANTOS, G.; SOUSA, M. J. Hop By-Products: Pharmacological Activities and Potential Application as Cosmetics. **Cosmetics**, v. 9, n. 6, 2022.
- PRADO, M. B. **Avaliação do trub quente como potencial ingrediente para a produção de cosméticos**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2021.
- RAMOS, G. R. V. **Obtenção, caracterização e secagem do autolizado de levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) de alambique**. 2014. Dissertação (Mestrado) – Curso de Tecnologia de Alimentos, Centro Universitário de Belo Horizonte, Belo Horizonte, 2014.
- RECH, K. P. M.; ZORZAN, V. Aproveitamento de resíduos da indústria cervejeira na elaboração de cupcake. **Aproveitamento de resíduos da indústria cervejeira na elaboração de cupcake**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Alimentos) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.
- REINOLD, M. R. **Manual prático de cervejaria**. São Paulo: Aden Editora, 1997.
- ROJAS-CHAMORRO, J. A.; ROMERO-GARCÍA, J. M.; CARA, C.; ROMERO, I.; CASTRO, E. Improved ethanol production from the slurry of pretreated brewers' spent grain through different co-fermentation strategies. **Bioresource Technology**, v. 296, 2020.
- SAMPAOLES, S.; GAMBA, R. R.; DE ANTONI, G. L.; PELÁEZ, Á. M. L. Potentiality of yeasts obtained as beer fermentation residue to be used as probiotics. **LWT**, v. 113, p. 108251, 2019.
- SANTOS, M.; JIMÉNEZ, J. J.; BARTOLOMÉ, B.; GÓMEZ-CORDOVÉS, C.; DEL NOZAL, M. J. Variability of brewer's spent grain within a brewery. **Food Chemistry**, v. 80, n. 1, p. 17-21, 2003.

- SOUZA, R. L.; FREIRE, K. R. L.; ALMEIDA, A. F. Utilização da levedura residual de cervejaria como fonte de nitrogênio para cultivo de *Bacillus* sp. **Simpósio de engenharia de biotecnologia e bioprocessos do semiárido**, 2., 2017, Sumé. Anais [...]. Sumé: UFCG, p. 82-96, 2017.
- VITANZA, R.; CORTESI, A.; GALLO, V.; COLUSSI, I.; ARANA-SARABIA, M. E. de. Biovalorization of brewery waste by applying anaerobic digestion. **Chemical and Biochemical Engineering Quarterly**, v. 30, n. 3, p. 351–357, 2016.
- VRIESEKOOOP, F.; HAYNES, A.; VAN DER HEIJDEN, N.; LIANG, H.; PAXIMADA, P.; ZUIDBERG, A. Incorporation of fermented brewers spent grain in the production of sourdough bread. **Fermentation**, v. 7, n. 2, p. 96, 2021.

Sobre os autores

Organizadores

Consuelo Domenici Roberto

Professora Associada do Departamento de Engenharia de Alimentos do CCAE-UFES, Engenheira de Alimentos, mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFV e doutora em Engenharia Agrícola pela UFV.

Contato: consuelo.roberto@ufes.br

Luciano José Quintão Teixeira

Professor Titular do Departamento de Engenharia de Alimentos do CCAE-UFES, Engenheiro de Alimentos, Mestre e Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFV. Contato: luciano.teixeira@ufes.br.

Raquel Vieira de Carvalho

Professora Titular do Departamento de Engenharia de Alimentos do CCAE-UFES, Engenheira de Alimentos, mestre em Ciência de Alimentos (UFLA) e doutora em Produção Vegetal na área de concentração em Tecnologia de Alimentos e Constituintes Químicos Vegetais (UENF).

Contato: raquel.v.carvalho@ufes.br.

Colaboradores

Ana Clara Nascimento Sobreira

Nutricionista e mestranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos, no CCAE-UFES.

Contato: nutri.claran@outlook.com.

Ana Paula Ribeiro Gaspar

Nutricionista e mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Ufes.

Contato: anapaula.rgaspar@outlook.com.

André Gustavo Vasconcelos Costa

Professor Associado do Departamento de Farmácia e Nutrição do CCENS-UFES. Nutricionista, mestre e doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFV.

Contato: andre.g.costa@ufes.br.

Antonio Manoel Maradini Filho

Professor Adjunto do Departamento de Engenharia de Alimentos do CCAE-UFES. Engenheiro de Alimentos, Mestre e Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFV.

Contato: antonio.maradini@ufes.br.

Bárbara Nicchio Carotti

Engenheira de Alimentos, mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos (UFES) e doutoranda em Ciência de Alimentos (UFMG).

Contato: bnicchio@gmail.com.

Camila Affonso Louzada

Engenheira de Alimentos e mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Ufes e doutoranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFV.

Contato: camila_alouzada@hotmail.com.

Cíntia Tomaz Sant’Ana

Nutricionista, mestre pela Ufes e Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFV.

Contato: cintia_santana28@hotmail.com.

Consuelo Domenici Roberto

Professora Associada do Departamento de Engenharia de Alimentos do CCAE-UFES. Engenheira de Alimentos, mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFV e doutora em Engenharia Agrícola pela UFV.

Contato: consuelo.roberto@ufes.br.

Dara Ramos Carolino

Nutricionista e mestranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos no CCAE-UFES.

Contato: dara.carolino@edu.ufes.br.

Eniale de Melo Oliveira

Engenheira de Alimentos, mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Ufes, doutoranda do Programa de Pós-graduação em Ciência de Alimentos da UFRJ.

Contato: eniale.melo.o@gmail.com.

Gabriela Permanhane Pereira

Nutricionista e mestranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos no CCAE-UFES.

Contato: gabriela.p.pereira@edu.ufes.br.

Gabriele Estofeles Louzada

Nutricionista e mestranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos no CCAE-UFES.

Contato: gabrielelouzadanutri@gmail.com.

Geanderson Leonardo de Lima Pereira

Engenheiro de Alimentos e mestrando em Ciência e Tecnologia de Alimentos no CCAE-UFES.

Contato: geandersonllima@gmail.com.

Ingrid Carvalho Moreira

Engenheira de Alimentos e mestranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos no CCAE-UFES.

Contato: ingrid.carvalho1902@gmail.com.

Joel Camilo Souza Carneiro

Professor Associado do Departamento de Engenharia de Alimentos do CCAE-UFES. Engenheiro de Alimentos, mestre e doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFV.

Contato: joel.carneiro@ufes.br.

Jussara Moreira Coelho

Professora Adjunta do Departamento de Engenharia de Alimentos do CCAE-UFES. Engenheira de Alimentos, mestre e doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFV.

Contato: jussara.coelho@ufes.br.

Laura Rocha Candido

Engenheira de Alimentos e mestranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos no CCAE-UFES.

Contato: lauracandidorochoa@gmail.com.

Leonardo do Vale Borges Poubel

Engenheiro Químico, CCAE-UFES.

Contato: leonardo_poubel@hotmail.com.

Luciano José Quintão Teixeira

Professor Titular do Departamento de Engenharia de Alimentos do CCAE-UFES. Engenheiro de Alimentos, Mestre e Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFV.

Contato: luciano.teixeira@ufes.br.

Maria Emília Rodrigues Valente

Professora Adjunta do Departamento de Engenharia de Alimentos do CCAE-UFES. Engenheira de Alimentos, mestre e doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFV.

Contato: maria.valente@ufes.br.

Maria Luiza Montenegro Secco

Nutricionista e mestranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos no CCAE-UFES.

Contato: secco.maria28@gmail.com.

Mariana Grancieri

Nutricionista e mestre pela Ufes e Doutora em Ciência da Nutrição pela UFV.

Contato: marianagrancieri@gmail.com.

Marisa da Silva Corrêa

Nutricionista e mestranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos no CCAE-UFES.

Contato: marisa.correanutri@gmail.com.

Matheus Stoffel Zacchi

Engenheiro Químico pelo CCAE-UFES.

Contato: matheus.zacchi@hotmail.com.

Moises Zucoloto

Professor Adjunto do Departamento de Agronomia do CCAE-UFES, Agrônomo, mestre em Produção Vegetal pela Ufes e doutor em Fitotecnia pela UFV.

Contato: moises.zucoloto@ufes.br.

Neuza Maria Brunoro Costa

Professora Titular do Departamento de Farmácia e Nutrição do CCENS-UFES. Nutricionista, Mestre e Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela University of Reading (UK).

Contato: neuza.costa@ufes.br.

Patrícia Campos Bernardes

Professora Associada do Departamento de Engenharia de Alimentos do CCAE-UFES. Bacharel em Ciência e Tecnologia de Laticínios, mestre e doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFV.

Contato: patricia.bernardes@ufes.br.

Pedro Henrique Alves Martins

Engenheiro de Alimentos e mestrando em Ciência e Tecnologia de Alimentos no CCAE-UFES.

Contato: pedro.a.martins@edu.ufes.br.

Pollyanna Ibrahim Silva

Professora Associada do Departamento de Engenharia de Alimentos do CCAE-UFES. Engenheira de Alimentos, mestre e doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFV.

Contato: pollyanna.silva@ufes.br.

Raquel Vieira de Carvalho

Professora Titular do Departamento de Engenharia de Alimentos do CCAE-UFES. Engenheira de Alimentos (UFV), mestre em Ciência de Alimentos (UFLA) e doutora em Produção Vegetal na área de concentração em Tecnologia de Alimentos e Constituintes Químicos Vegetais (UENF).

Contato: raquel.v.carvalho@ufes.br.

Renato Jorge Cimero Calci

Nutricionista e mestrando em Ciência e Tecnologia de Alimentos no CCAE-UFES.

Contato: renatocimero@gmail.com.

Sarah Helmer de Souza Ramos

Engenheira Agrônoma e mestranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos no CCAE-UFES.

Contato: sarah.souza@edu.ufes.br.

Stéfano Cypreste de Almeida

Engenheiro de Alimentos e mestrando em Ciência e Tecnologia de Alimentos no CCAE-UFES.

Contato: stefanocypreste14@gmail.com.

Suzana Maria Della Lucia

Professora Titular do Departamento de Engenharia de Alimentos do CCAE-UFES. Engenheira de Alimentos, mestre e doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFV.

Contato: suzana.lucia@ufes.br.

Tarcísio Lima Filho

Professor Adjunto do Departamento de Engenharia de Alimentos do CCAE-UFES, Engenheiro de Alimentos, mestre em Ciência e

Tecnologia de Alimentos pela Ufes e doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFV. Contato: tarcisio.lima@ufes.br.

Thalia Gomes da Silva

Nutricionista e mestranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos no CCAE-UFES. Contato: thaliagomes_s@hotmail.com.

Willian Renan Moraes de Paula

Engenheiro de Alimentos pela Ufes. Contato: willianr.morais@gmail.com.

Índice remissivo

A

alimentos funcionais 123, 210, 263
alimentos prontos para consumo 12,
236, 245
antioxidantes 12, 23, 37, 39, 41, 48, 49,
59, 61, 66, 69, 83, 84, 85, 86, 90, 91,
92, 93, 94, 95, 157, 158, 162, 163, 165,
168, 170, 171, 173, 174, 176, 177, 210,
213, 218, 219, 220, 223, 224, 264, 266,
272, 273, 275
antioxidantes não enzimáticos 163
azedinha 34, 38, 43, 52

B

bactérias 42, 62, 63, 65, 77, 85, 89, 90,
92, 103, 104, 107, 110, 111, 112, 113,
114, 115, 119, 120, 121, 123, 133, 140,
146, 217, 221, 245, 263, 275
bagaço de malte 23, 257, 259, 260, 261,
262, 263, 264, 265, 266, 267, 268,
269, 270, 280, 281
beldroega 34, 37, 51

bertalha 34, 38, 43, 46, 51, 52, 54
biodisponibilidade 66, 189, 196, 198,
200, 203
Biofortificação 188, 191, 205

C

Coffea arabica 209, 210, 211, 213, 220,
221, 226, 233
Coffea canephora 209, 210, 211, 213,
220, 221, 222, 225, 229, 232
composição microbiana 103, 115, 118
compostos bioativos 12, 25, 41, 59, 60,
61, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71,
72, 85, 86, 87, 89, 92, 94, 119, 137,
152, 209, 210, 212, 214, 218, 219, 223,
224, 267, 271, 272, 273, 274, 275

D

desenvolvimento de novos produtos
11, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 24,
25, 28, 60, 66, 219, 224

desenvolvimento sustentável 6, 11, 12,
13, 14, 60
doenças de origem alimentar 235

E

enzimas 43, 45, 59, 61, 68, 87, 89, 115,
140, 141, 142, 149, 158, 162, 163, 164,
165, 166, 167, 168, 170, 171, 173, 174,
175, 176, 243
Extratos naturais 83, 85

F

feijão-caupi 192, 196, 197, 198, 199,
200, 206
fermentação 67, 102, 103, 104, 105, 106,
107, 108, 110, 111, 113, 114, 115, 116,
118, 119, 120, 123, 133, 134, 135, 136,
137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144,
145, 146, 147, 149, 150, 152, 199, 237,
260, 261, 263, 277, 278
fermentação espontânea 108, 115, 118,
145
ferro 35, 37, 38, 43, 63, 83, 89, 189, 192,
194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 203
fontes vegetais 30, 57, 61, 63, 67, 86
frutas 12, 21, 22, 23, 26, 28, 58, 61, 68,
69, 71, 85, 86, 87, 103, 104, 105, 106,
157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164,
168, 169, 170, 172, 173, 174, 175, 177,
179, 182, 256

I

indústria de alimentos 11, 13, 14, 19, 21,
22, 23, 24, 25, 30, 44, 45, 48, 49, 86,
92, 124, 209, 218, 224, 235, 280
ingredientes naturais 12, 60, 63, 71, 91,
93, 94
inovação 2, 6, 11, 12, 47, 57, 92, 94, 124,
177, 237, 258, 259, 268, 279

J

jambu 34, 35, 48, 49, 50, 51

K

Kefir de água 102, 105, 107

L

Listeria monocytogenes 12, 63, 85, 90,
234, 236, 237, 247, 248, 249, 250,
251, 252, 253, 254, 275

N

naturalidade 57, 71
novos ingredientes 60, 61, 63, 64, 71,
73

O

ora-pro-nóbis 34, 37, 46, 47, 51, 55

P

PANC 32, 33, 34, 47, 52, 53, 55
peixinho 34, 37, 42, 49, 51
probiótico 103, 113, 117, 119, 222, 280
probióticos 66, 67, 92, 111, 114, 117, 118,
119, 123, 125, 276, 277, 278
produto 14, 15, 16, 17, 18, 19, 24, 25, 26,
27, 43, 44, 46, 60, 67, 91, 108, 109,
110, 116, 117, 133, 137, 147, 169, 173,
210, 212, 213, 214, 219, 240, 243, 244,
258, 267
produtos cárneos 61, 83, 85, 86, 91, 92,
93, 94, 95, 219, 234, 235, 236, 237,
238, 239, 241, 242, 243, 244, 245,
246, 247

Q

qualidade 12, 19, 24, 58, 84, 94, 98, 102,
108, 110, 115, 116, 132, 133, 136, 137,
138, 147, 149, 150, 158, 159, 161, 162,
163, 166, 168, 176, 177, 179, 182, 189,
191, 192, 199, 201, 211, 212, 213, 236,
237, 239, 240, 241, 242, 243, 246,
247, 267, 274, 280
qualidade sensorial 110, 115, 133, 138,
236, 237, 241, 242, 243, 280

R

reaproveitamento 212, 257, 261, 264,
269, 274, 275, 278
refrigeração 105, 108, 238, 239, 240,

242, 245, 246

resíduos 12, 13, 14, 21, 22, 23, 24, 25, 27,
28, 58, 60, 61, 67, 68, 69, 72, 77, 85,
92, 212, 223, 244, 255, 256, 257, 258,
261, 264, 268, 269, 270, 274, 276,
277, 278, 279, 280, 284

S

saudabilidade 57, 58, 71, 188
saúde 20, 23, 45, 57, 84, 95, 103, 104,
111, 112, 113, 117, 118, 119, 120, 121,
122, 132, 157, 188, 189, 191, 192, 193,
194, 195, 196, 197, 199, 200, 201, 206,
210, 214, 215, 216, 217, 218, 223, 224,
240, 241, 242, 246, 255, 266, 277,
278, 284
senescência 158, 159, 162, 168, 172
serralha 34, 37, 51
subprodutos 26, 58, 60, 61, 68, 69, 72,
158, 223, 256, 258, 259, 271
substratos 123, 216, 274
sustentabilidade 13, 14, 21, 23, 24, 25,
28, 31, 41, 57, 58, 59, 61, 72, 188, 190,
197, 236, 237, 242, 244, 246, 247,
256, 258, 259, 268, 280

T

tecnologias verdes 68
Tepache 102, 125, 126, 127, 128, 130
Theobroma cacao 150, 151, 152, 154,
155, 156

trub grosso 257, 270, 272, 273, 274,
275, 280
trub grosso e fino 257

V

vegetais 12, 21, 22, 23, 30, 32, 34, 43,
45, 46, 57, 58, 60, 61, 63, 64, 65, 67,
68, 69, 70, 71, 84, 85, 86, 88, 89, 90,
92, 93, 105, 151, 159, 161, 167, 172,
182, 199, 256

