Organizadores:
Gerla Castello Branco Chinalate
Krause Gonçalves Silveira Albuquerque
Keila Priscila do Nascimento
Alberto Einstein Pereira de Araujo
João Pedro Ferreira
Adamirely Bezerra de Melo

INOVAÇÃO E INTERDISCIPLINARIDADE NAS CIÊNCIAS DE ALIMENTOS

VOL. 3

TROPPO
Editora e Eventos

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Inovação e interdisciplinaridade nas ciências de alimentos [livro eletrônico] : vol. 3 / organizadores Gerla Castello Branco Chinelate ... [et al.]. -- Recife, PE : TROPPO Editora & Eventos, 2026.
PDF

Outros organizadores: Krause Gonçalves Silveira Albuquerque, Keila Priscila do Nascimento, Alberto Einstein Pereira de Araujo, João Pedro Ferreira, Adamirely Bezerra de Melo
Vários autores.
Vários colaboraodores.
Bibliografia.
ISBN 978-65-978743-3-0

1. Alimentos - Indústria e comércio 2. Inovação - Processos e modelos 3. Qualidade - Controle 4. Segurança alimentar 5. Sustentabilidade 6. Tecnologia de alimentos I. Chinelate, Gerla Castello Branco. II. Albuquerque, Krause Gonçalves Silveira. III. Nascimento, Keila Priscila do. IV. Araujo, Alberto Einstein Pereira de. V. Ferreira, João Pedro. VI. Melo, Adamirely Bezerra de.

26-338114.2 CDD-664

Índices para catálogo sistemático:

1. Segurança alimentar : Tecnologia de alimentos 664

Camila Aparecida Rodrigues - Bibliotecária CRB - SP-010133/O

https://doi.org/10.65747/conali2025v3

PEER REVIEW

OPEN ACCESS

ISBN: 978-65-978743-3-0

ORGANIZADORES:

Gerla Castello Branco Chinelate
Krause Gonçalves Silveira Albuquerque
Keila Priscila do Nascimento
Alberto Einstein Pereira de Araujo
João Pedro Ferreira
Adamirely Bezerra De Melo

CONSELHO EDITORIAL:

Editor Chefe:
Alberto Einstein Pereira de Araujo

Coordenadora Executiva:
Gerla Castello Branco Chinelate

Conselho:
Keila Priscila do Nascimento
Cybelle Pereira de Oliveira
Edvane Borges da Silva
Jaqueline dos Santos Silva Pinheiro Rodrigues
Jenyffer Medeiros Campos Guerra
João Batista Barbosa
João Pedro Ferreira
Jonas Luiz Almada da Silva
Krause Gonçalves Silveira Albuquerque
Liderlânio de Almeida Araújo
Neila Mello dos Santos Cortez Barbosa
Patrícia Beltrão Lessa Constant
Raimundo Bernadino Filho
Simone Vilela Talma

MONITORES:

Adamirely Bezerra de Melo
Augusto Vinícius da Silva Araújo
Cássia Jesyele Maciel dos Anjos
Diogo Marques da Silva
Eduarda Maria de Souza
Humberto Pessoa de Freitas
Jade Lima Silva
Jamilly de Souza Silva
Jara Nicácio de Araújo Gomes
José Rodrigo da Silva
João Vinícius Alves de Almeida
Karina Barbosa dos Santos
Keyvson Henrique Verissimo de Lima
Larissa Mylena Mendes Dias
Layane de Lima Bezerra
Lillyan Eduarda da Silva
Lucas Alves Marques
Tainara de Brito Dourado
Wesley Thiago da Silva Bezerra

PALESTRANTES:

Chiara Rego Barros
Danielle Alves da Silva Rios
Edvane Borges da Silva
Gabriele Gruska Benevides Prata
Gerla Castello Branco Chinelate
Hélen Maria Lima da Silva
João Henrique Fernandes Silva
Lorena Barbosa de Souza Almeida
Michelle Rayssa Pereira de Melo
Pedro Henrique Nascimento de Lima
Raimundo Bernadino Filho

COMISSÃO CIENTÍFICA - AVALIADORES:

Acenini Lima Balieiro
Artur Xavier Mesquita de Queiroga
Cybelle Pereira de Oliveira
Edvane Borges da Silva
Eric Batista Ferreira
Ewerton Clementino Diniz
Gabriely Ferraz Menezes Leite
Hélen Maria Lima da Silva
Ilsa Cunha Barbosa Vieira
Jaqueline dos Santos Silva Pinheiro Rodrigues
Jenyffer Medeiros Campos Guerra
João Batista Barbosa
João Luiz Crêspo Cavalcanti
João Pedro Ferreira
Jonas Luiz Almada da Silva
Júlio César da Silva Vieira
Kleiton Honorato Cavalcanti
Krause Gonçalves Silveira Albuquerque
Leandro José de Oliveira Mindelo
Liderlânio de Almeida Araújo
Mateus Ribeiro Costa
Mônica Correia Gonçalves
Neila Mello dos Santos Cortez Barbosa
Ninive Bezerra Flôrencio
Patrícia Beltrão Lessa Constant
Pedro César Andrade do Nascimento
Raimundo Bernadino Filho
Regina Maria Chaves Escorel Costa
Simone Vilela Talma
Sonara de França Sousa
Tâmara Lúcia dos Santos Silva
Thayná Habeck Lúcio Silva
Valquíria da Silva

APRESENTAÇÃO

É com grande satisfação que apresentamos o E-book Inovação e Interdisciplinaridade nas Ciências de Alimentos Vol. 3. Aqui o leitor irá encontrar uma série de trabalhos que unem inovação e ciência com temas com forte inserção na indústria. Os trabalhos apresentam uma diversidade de metodologias, contextos e níveis de pesquisa que caracterizam a ciência e a tecnologia de alimentos no Brasil. Eles representam não apenas um registro das atividades realizadas, mas também um instrumento de promoção do conhecimento científico, da interdisciplinaridade e da inovação. Esperamos que esta coletânea contribua para inspirar futuras pesquisas, fortalecer redes de colaboração e impulsionar soluções que atendam aos desafios contemporâneos do setor alimentício.

Agradecemos a todos os autores, avaliadores, palestrantes, instituições parceiras e patrocinadores. Boa leitura!

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO 4

ALÉM DA AMEAÇA VERMELHA: HORIZONTES REGULATÓRIOS E ALTERNATIVAS NATURAIS PARA ERITROSINA (FDC RED NO. 3) NA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA 10

APROVEITAMENTO DE SUBPRODUTOS NA PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DE LAMINADOS DE FRUTAS: UMA REVISÃO 25

BLEND DE HAMBÚRGUER BOVINO COM COGUMELO DO TIPO SHIMEJI BRANCO: QUALIDADE QUÍMICA E FÍSICA 46

CINÉTICA DE SECAGEM E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO Plectranthus amboinicus (Lour.) 57

COMPOSIÇÃO E QUALIDADE: UMA ABORDAGEM FÍSICOQUÍMICA PARA DIFERENTES GENÓTIPOS DE AMENDOIM 69

COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL, PROPRIEDADES ANTIOXIDANTES E APLICAÇÕES DE SEUS SUBPRODUTOS DA ACEROLA: REVISÃO DE LITERATURA 83

CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE MANGA 'TOMMY ATKINS'TRATADAS COM CALDA BORDALESA E ÓLEO DE ALECRIM 98

DESENVOLVIMENTO DE BISCOITO SEM GLÚTEN ENRIQUECIDO COM ORA-PRO-NOBIS (PERESKIA ACULEATA): FONTE DE PROTEINA . . . 112

EFEITO DO TRATAMENTO DE MICRO-ONDAS SOBRE OS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DO LEITE DE VACA COMO ALTERNATIVA A PASTEURIZAÇÃO CONVENCIONAL . . . 123

ELABORAÇÃO E AVALIAÇÃO SENSORIAL DE DOCE TIPO AMBROSIA UTILIZANDO POLPA E ENZIMA DE FRUTAS 141

EXTRAÇÃO ÁCIDA E CARACTERIZAÇÃO DA PECTINA DE POLPA DESIDRATADA DE ARATICUM-DO-BREJO (Anonna glabra) ASSISTIDA POR ULTRASSOM 152

EXTRAÇÃO VERDE DE COMPOSTOS BIOATIVOS UTILIZANDO SOLVENTES EUTÉTICOS NATURAIS PROFUNDOS (NADES) ASSISTIDA POR ULTRASSOM: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA 165

FARINHA DE MANGA VERDE COMO ALTERNATIVA NUTRICIONAL EM BISCOITOS SEM GLÚTEN: CARACTERIZAÇÃO E EFEITO NAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS 180

MICROENCAPSULAÇÃO COMO ALTERNATIVA PARA ESTABILIDADE DE CORANTES NATURAIS: UMA REVISÃO 193

MICROENCAPSULAÇÃO DE BACTÉRIAS LÁCTICAS PROBIÓTICAS E PREBIÓTICO INCORPORADOS EM SUCO MISTO DE ACEROLA E UMBU214

O USO DE LEITE DE BÚFALA PARA FABRICAÇÃO DE NOVOS PRODUTOS LÁCTEOS 225

POTENCIAL PROTEICO E TECNOLÓGICO DE SANGUE ANIMAL E SEUS HEMOCOMPONENTES COMO ADITIVO ALIMENTAR: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA 236

SISTEMA DE EMBALAGEM A VÁCUO E A QUALIDADE DA CARNE BOVINA IN NATURA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA. 251

SUBSTITUIÇÃO DA ERITROSINA POR CORANTES NATURAIS EM CEREJAS ENDULÇADAS COM POLIÓIS PREBIÓTICOS: UMA ABORDAGEM NUMÉRICO-ANALÍTICA PARA SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS E SEGURAS 269

SUBSTITUIÇÃO DE NITRITO E NITRATO DE SÓDIO EM PRODUTOS CÁRNEOS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DOS EFEITOS FÍSICOQUÍMICOS E SENSORIAIS 288

APLICABILIDADE DA MACAMBIRA (BROMELIA LACINIOSA MART. EX SCHULT) COMO COAGULANTE DE LEITE: UMA ABORDAGEM BIBLIOMÉTRICA 306

CARACTERIZAÇÃO MINERAL, MORFOLOGIA E ESTABILIDADE DA FLOR DE Cosmos bipinnatus CAV APÓS A COLHEITA 318

DESENVOLVIMENTO DE BEBIDAS ALCOÓLICAS A PARTIR DE CASCAS DE CAFÉ TIPO ARÁBICA POR INFUSÃO A FRIO 333

DESENVOLVIMENTO DE COCADA COM BAIXO ÍNDICE GLICÊMICO AGREGANDO VALOR DAS COCADAS PRODUZIDAS NO AGRESTE MERIDIONAL DE PERNAMBUCO 344

DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE SENSORIAL DE PANQUECA FUNCIONAL À BASE DE MILHO (Zea mays L.) SEM LACTOSE 357

EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO POR MICRO-ONDAS NO SUCO DE ACEROLA: INATIVAÇÃO MICROBIANA E PROPRIEDADES FÍSICOQUÍMICAS 368

ESTUDO DE PERDA DE MASSA DO PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO DE CHIPS DE QUEIJO DO REINO NO FORNO MICRO-ONDAS 387

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA: LÂMINAS BIOATIVAS À BASE DE XILOGLUCANA COMO ENVOLTÓRIO DE PRODUTOS DE PESCADO 398

MÉTODOS INOVADORES PARA ESTABILIZAÇÃO DE PIGMENTOS NATURAIS: REVISÃO DE LITERATURA 410

DESENVOLVIMENTO DE BISCOITO FUNCIONAL COM RESÍDUOS DE BATATA-DOCE E MALTE: UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL E NUTRITIVA433

JENIPAPO PODCAST: EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E ENGAJAMENTO SOCIAL EM SUSTENTABILIDADE NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS 447

O USO DO REFRACTANCE WINDOW DRYING POR PESQUISADORES DA AMÉRICA DO SUL: UMA ANÁLISE CIENCIOMÉTRICA 462

PROTAGONISMO JUVENIL EM AÇÕES DE SUSTENTABILIDADE: UMA PARCERIA ENTRE O ENSINO SUPERIOR E O ENSINO MÉDIO NA CIDADE DE FEIRA DE SANTANA-BA 477

DEGRADAÇÃO DO CORANTE ALÍMENTICIO VERDE RÁPIDO ATRÁVES DE PROCESSO OXIDATIVO AVANÇADO ELETROQUÍMICO 497

EMPREGO DE OXIDAÇÃO ANÓDICA NO ESTUDO DA DEGRADAÇÃO DA MISTURA DE CORANTES ALIMENTÍCIOS AMARELO CREPÚSCULO E ROXO AÇAÍ 509

ESTUDO DA DEGRADAÇÃO DE CORANTES ALIMENTÍCIOS POR MEIO DE PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS CLÁSSICOS 522

QUE CHOCOLATE É ESSE? AVALIAÇÃO DOS HÁBITOS CONSUMIDORES DESTE PRODUTO NA CIDADE DE SOBRAL-CE 537

EXTRAÇÃO SÓLIDO-LÍQUIDO NO PROCESSAMENTO DE LICOR DE ABACAXI547

AVALIAÇÃO DA ACEITAÇÃO SENSORIAL DE BEBIDA MISTA DE MARACUJÁ E PALMA FORRAGEIRA 565

ACEITAÇÃO SENSORIAL E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DE MOLHO PARA SALADA À BASE DE TAMARINDO 575

EIXO TEMÁTICO

TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

ALÉM DA AMEAÇA VERMELHA: HORIZONTES REGULATÓRIOS E ALTERNATIVAS NATURAIS PARA ERITROSINA (FD&C RED NO. 3) NA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA

BEYOND THE RED MENACE: REGULATORY HORIZONS AND NATURAL ALTERNATIVES FOR ERYTHROSINE (FD&C RED NO. 3) IN THE FOOD INDUSTRY

DOI: 10.65747/conali2025v3c01

Mariela Beatriz Maldonado[1]; Juan Ignacio González Pacheco[2,3,4]; Heleno Bispo da Silva Jũnior[3]; Rennan Pereira de Gusmão[4]

[1]Pesquisador do Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET; [2]Docente/pesquisador do Depto de Engenharia Química – Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza, Argentina. – (UTN FRM); [3]Docente/pesquisador do Depto de Engenharia de Química– Universidade Federal de Campina Grande. – (UFCG); [4]Docente/pesquisador do Depto de Engenharia de Alimentos– Universidade Federal de Campina Grande. – (UFCG).

Contato: marielabeatriz1972@yahoo.com.ar

Resumo: A crescente preocupação mundial sobre os riscos associados ao uso de corantes sintéticos em alimentos levou a uma discussão regulatória e avanços científicos que culminaram na recente classificação da eritrosina (FD&C Red No. 3) nos Estados Unidos, após décadas de debate e evidências crescentes de efeitos tóxicos, como carcinogenicidade, neurotoxicidade e disrupção endócrina em estudos animais e humanos. Este trabalho apresenta uma revisão detalhada da literatura, selecionando estudos experimentais, revisões e relatórios regulatórios das principais bases científicas para analisar o perfil toxicológico da eritrosina, as razões para o atraso regulatório e o impacto potencial à saúde pública. A metodologia segue critérios PRISMA, considerando rigor científico, aplicabilidade prática na indústria alimentícia e relevância em saúde coletiva. Foram também examinadas alternativas naturais, como antocianinas, betalaínas, carotenoides e pigmentos especiais de gardênia, discutindo suas propriedades tecnológicas, estabilidade, aplicações industriais e benefícios à saúde, bem como desafios técnicos e tendências do setor diante da crescente demanda por produtos “clean label”. Os resultados indicam que, mesmo com limitações tecnológicas, as alternativas naturais são viáveis e estão alinhadas ao princípio da precaução, representando uma mudança necessária para a segurança alimentar contemporânea. Conclui-se que a mudança regulatória e tecnológica é urgente e factível, mediante maior investimento em pesquisa, inovação e políticas públicas baseadas em evidências robustas.

Palavras–chave: alternativas naturais; corantes alimentares; eritrosina; regulamentação; toxicologia.

Abstract: Growing global concern about the risks associated with the use of synthetic colors in food has led to regulatory discussion and scientific advances that culminated in the recent classification of erythrosine (FD&C Red No. 3) in the United States, following decades of debate and growing evidence of toxic effects such as carcinogenicity, neurotoxicity, and endocrine disruption in animal and human studies. This work presents a detailed literature review, selecting experimental studies, reviews, and regulatory reports from the main scientific databases to analyze the toxicological profile of erythrosine, the reasons for regulatory delays, and the potential impact on public health. The methodology follows PRISMA criteria, considering scientific rigor, practical applicability in the food industry, and relevance to public health. Natural alternatives, such as anthocyanins, betalains, carotenoids, and special gardenia pigments, were also examined, discussing their technological properties, stability, industrial applications, and health benefits, as well as technical challenges and industry trends in light of the growing demand for clean-label products. The results indicate that, despite technological limitations, natural alternatives are viable and aligned with the precautionary principle, representing a necessary shift in contemporary food safety. It is concluded that regulatory and technological change is urgent and feasible, through increased investment in research, innovation, and public policies based on robust evidence.

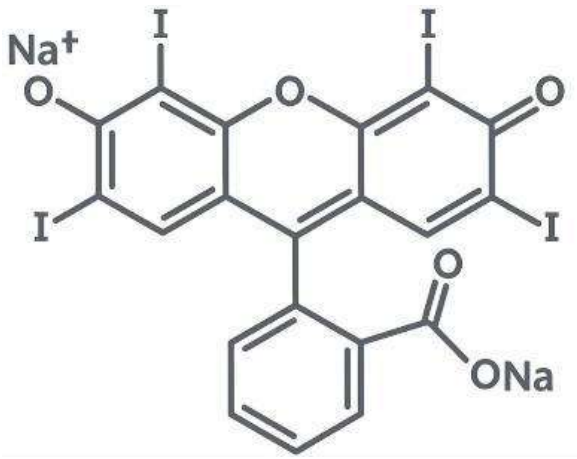
Keywords: alternatives; erythrosine; food colorants; natural pigments; regulation; toxicology.

INTRODUÇÃO

Um aditivo de cor, conforme definido pela regulamentação, é qualquer corante, pigmento ou outra substância que possa conferir cor a um alimento, medicamento ou cosmético ou ao corpo humano. Os aditivos de cor são componentes importantes de muitos produtos, tornando-os atraentes, apetitosos e informativos. A cor adicionada serve como uma espécie de código que nos permite identificar produtos à primeira vista, como sabores de balas, dosagens de medicamentos e lentes de contato esquerdas ou direitas. Uma das funções da Food and Drug Administration (FDA) dos EUA é garantir que os aditivos de cor sejam usados de forma segura e adequada (1)

O uso de corantes em alimentos data de civilizações antigas, mas foi no século XIX que os corantes sintéticos passaram a predominar devido a seu baixo custo, durabilidade e padronização (2). A eritrosina, conhecida como FD&C Red No. 3 ou E127 na Europa, tornou-se onipresente em confeitos, cereais, laticínios e produtos farmacêuticos por sua coloração vermelho cereja marcante e estabilidade (3,4).Erythrosine (FD&C Red No. 3, E127) is a synthetic food dye belonging to the xanthene class of colorants. Its chemical structure is characterized by a tetraiodinated fluorescein molecule, with the chemical formula $C_{20}H_8I_4O_5 \cdot 2Na$. The molecular structure of erythrosine is shown in Figure 1.

Figure 1 – Chemical Structure of Erythrosine ($C_{20}H_8I_4O_5 \cdot 2Na$).



Fonte: Created in BioRender. Maldonado, M. (2025).

A eritrosina tem um peso molecular de 879,86 g/mol, sendo o iodo responsável por aproximadamente 58% do seu peso molecular (3). Apresenta-se como um pó marrom-avermelhado que se dissolve em água, produzindo uma solução vermelho-cereja. A cor da eritrosina depende do pH, apresentando uma coloração vermelho-vivo em valores de pH acima de 5 e mudando para laranja em valores de pH mais baixos

O apelo visual dos produtos alimentícios influencia significativamente a escolha e a aceitação do consumidor, tornando os corantes alimentícios ingredientes essenciais na indústria alimentícia moderna. Historicamente, corantes derivados de fontes naturais eram usados para melhorar a aparência dos alimentos, mas a descoberta dos corantes sintéticos em meados do século XIX revolucionou as práticas de coloração de alimentos devido à sua estabilidade, consistência e custo-benefício (2). Entre esses corantes sintéticos, a eritrosina (FD&C Vermelho nº 3, E127) tem sido amplamente utilizada para conferir uma cor vermelho-cereja a diversos produtos alimentícios, farmacêuticos e cosméticos.

Apesar das aprovações regulatórias iniciais e ampla aceitação comercial, inúmeros estudos ao longo das últimas décadas associaram a eritrosina a efeitos biológicos deletérios, incluindo toxicidade gastrointestinal, carcinogenicidade, desregulação hormonal, neurotoxicidade e genotoxicidade (5–15). Paradoxalmente, o reconhecimento desses riscos foi lento por parte das instâncias regulatórias, especialmente nos Estados Unidos (3,4,16)

O conhecimento acumulado destaca a necessidade urgente de políticas públicas baseadas no princípio da precaução, bem como de alternativas naturais tecnicamente viáveis, capazes de substituir a eritrosina em escala industrial (17–19).

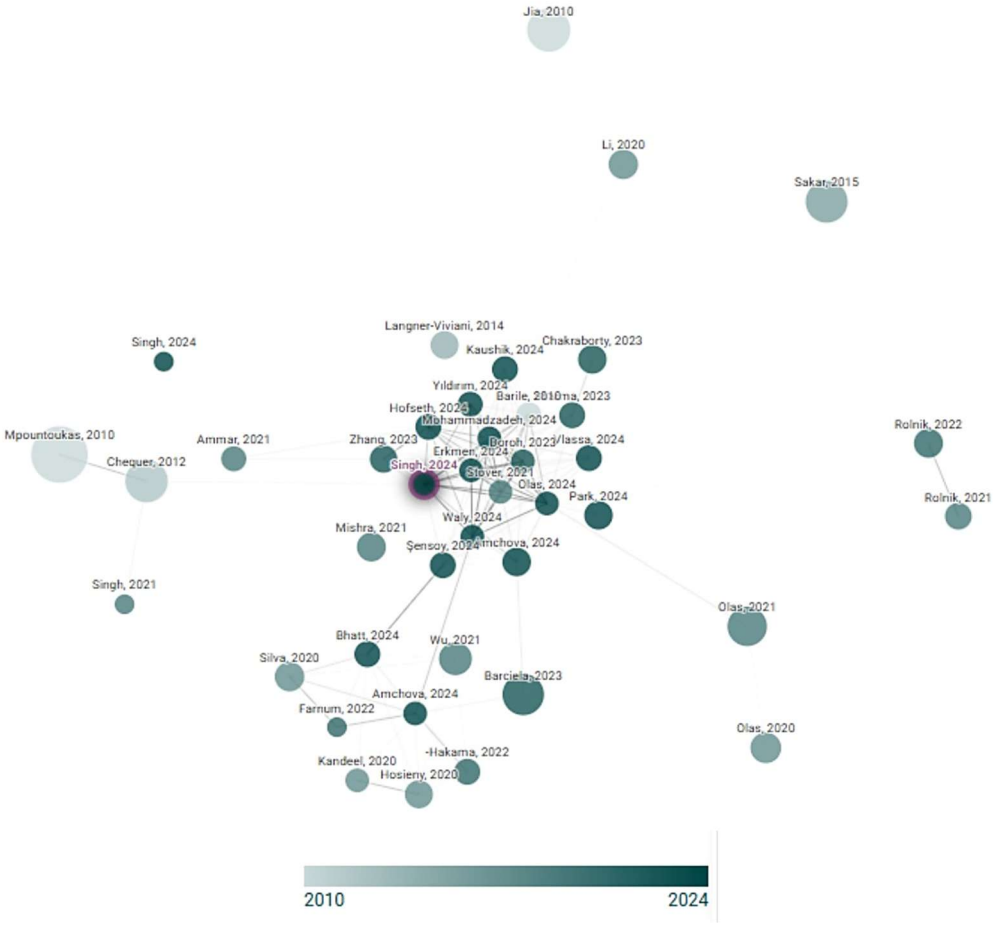
Corantes naturais, como antocianinas, carotenoides e clorofilas, vêm de frutas, vegetais e plantas medicinais. Esses pigmentos são usados em alimentos pela capacidade de fornecer cores atraentes e também por apresentarem propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antimicrobianas (20). Além de melhorar a aparência dos produtos, eles podem ajudar na prevenção de doenças cardiovasculares, câncer e diabetes. São considerados seguros para o consumo e preferidos em relação aos corantes sintéticos. A demanda cresce devido à tendência por produtos mais naturais e saudáveis (20–23).

Este trabalho visa sintetizar criticamente as evidências toxicológicas, o percurso regulatório da eritrosina, e a aplicabilidade de corantes naturais, contribuindo para uma transição mais segura e sustentável no setor alimentício.

MATERIAL E MÉTODOS

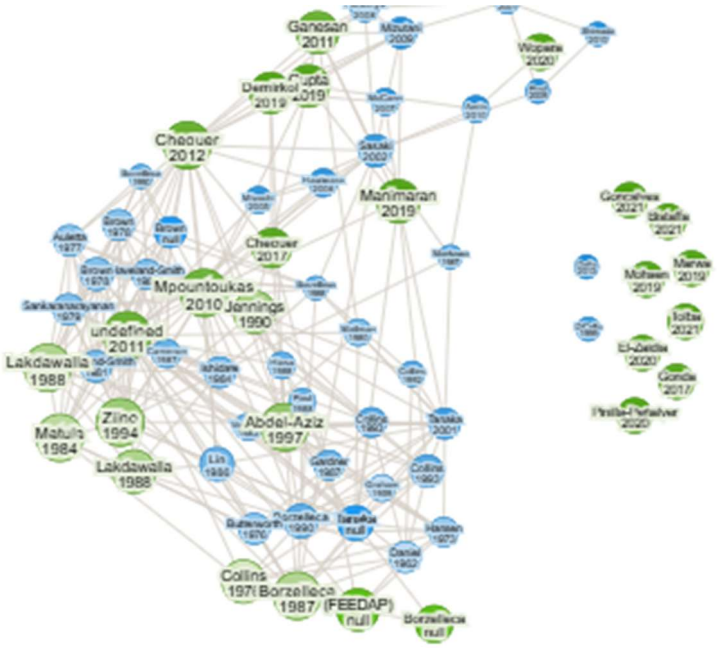
A revisão foi conduzida utilizando abordagem sistemática, em conformidade com o guia PRISMA para revisões qualitativas e integrativas (3), Fontes de Dados: Foram utilizados artigos científicos indexados (PubMed, Scopus, ScienceDirect, Google Scholar), documentos regulatórios (24–26), relatórios técnicos e revisões publicadas entre 1980–2025 (18). Termos de Busca: “erythrosine”, “Red No. 3”, “food dye toxicity”, “regulatory history”, “natural food colorant”, “anthocyanin”, “betalain”, “carotenoid” (12,17). Além disso, foram utilizadas como fontes de referência as aplicações Connected Papers (Fig. 2) e Research Rabbit (Fig. 3), para disponibilizar a base de dados de referências e iniciar pesquisas preliminares de informação. A seguir, são apresentadas as redes neurais geradas em ambos os motores de busca:

Figure 2 – Rede neural gerada em Connected Papers.



Fonte: Connected Papers.

Figure 3 – Rede neural gerada em Research Rabbit.



Fonte: Research Rabbit.

Critérios de Inclusão: Estudos experimentais (in vivo/in vitro), revisões, meta-análises, publicações regulatórias e relatórios de mercado relevantes ao tema, com foco em danos toxicológicos e alternativas tecnológicas (27, 28). Processo de Seleção: Seleção com base em rigor metodológico, impacto no campo, aplicabilidade prática na indústria alimentar e relevância para saúde pública. Extração de Dados: Tópicos extraídos: mecanismos moleculares de toxicidade, evolução regulatória, desempenho tecnológico e bioativo dos pigmentos naturais, desafios industriais e tendências de consumo (17, 29).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.Perfil Químico e Funcional da Eritrosina

A eritrosina é um corante sintético pertencente à classe dos xantenos, identificado pela fórmula $C_{20}H_8I_4O_5 \cdot 2Na$ e caracterizado por um elevado teor de iodo, que corresponde a aproximadamente 58% de sua massa molecular(3,4). Entre suas principais propriedades, destaca-se a alta solubilidade em água e a boa estabilidade frente ao calor e à luz, embora apresente baixa solubilidade em óleos, o que restringe sua aplicação em matrizes alimentares lipídicas(3). Esse corante é largamente utilizado em produtos como confeitos, cereais matinais, iogurtes, laticínios, produtos cárneos processados, além de fármacos e cosméticos. No que se refere às propriedades físico-químicas, a eritrosina exibe uma cor vermelha intensa em meio ácido, com estabilidade térmica superior à de muitos corantes naturais; contudo, é suscetível à degradação na presença de agentes redutores e seu desempenho pode ser influenciado pelas características do pH do meio(2, 30).2. Perfil Toxicológico da Eritrosina

2.1 Carcinogenicidade

Diversos estudos apontam que ratos F344 expostos à eritrosina apresentam aumento significativo de tumores foliculares na tireoide em relação ao controle, numa relação dose-dependente (31–34).Os mecanismos podem ser: interferência hormonal: inibição da peroxidase tireoidiana reduz a síntese de T3 e T4, elevando TSH e promovendo proliferação celular tireoidiana (35) o dano ao DNA e estresse oxidativo: Estudos demonstram que a eritrosina induz danos ao DNA em células de mamífero, em parte via geração de espécies reativas de oxigênio (14,15,36).Este foi o repercussão regulatória: A evidência de carcinogenicidade foi determinante para o banimento em cosméticos (1990) e, mais recentemente, em alimentos nos EUA (3).

2.2 Neurotoxicidade

Ratos tratados com eritrosina exibem alterações comportamentais, redução dos níveis de neurotransmissores (dopamina, GABA, norepinefrina, serotonina), assim como diminuição da atividade da acetilcolinesterase e aumento de marcadores de estresse oxidativo (13,37). Por outro lado, adicionalmente, meta-análises ligam corantes sintéticos ao agravamento de sintomas de TDAH em crianças (38).

2.3 Disrupção Endócrina

Eritrosina atua como disruptor endócrino, afetando a síntese, transporte e metabolismo de hormônios tireoidianos. Seu efeito é reforçado pela alta biodisponibilidade de iodo (3, 26, 28).

Disfunções incluem hipotireoidismo, alterações metabólicas e impactos no desenvolvimento neurocognitivo (39).

2.4 Genotoxicidade e Mutagenicidade

Há resultados contraditórios sobre o potencial mutagênico: alguns ensaios reportam dano ao DNA (14), enquanto outros atestam baixo risco nas doses dietéticas usuais (19)

2.5 Reações Alérgicas

Relatos de urticária, angioedema, e sintomas respiratórios em indivíduos suscetíveis, embora a prevalência seja baixa (40–43)

3. Histórico Regulatória e o Banimento Final

3.1 EUA

A eritrosina foi um dos primeiros corantes sintéticos a serem aprovados para uso em 1906. No entanto, em 1990 (44), ocorreu um banimento parcial de seu uso, proibindo sua aplicação em cosméticos e medicamentos de uso tópico devido a evidências robustas de carcinogenicidade (27,45). Mais recentemente, em 2025, a eritrosina passou por um banimento total, resultado da pressão de grupos de consumidores, como o CSPI, e de um novo escrutínio científico, estabelecendo-se um período de transição até 2028 para sua retirada completa de alimentos (3).

3.2 Europa

A eritrosina passou a ter restrições rígidas no uso em alimentos, sendo permitida somente em cerejas ao licor e outras aplicações bastante específicas, sempre com limites rigorosos de concentração (3). Além dessas limitações, existe um debate contínuo acerca do excesso de ingestão de iodo associado ao corante e os potenciais riscos relacionados à função tireoidiana(18).

3.3 Causas do atraso regulatório

O influxo da indústria exerceu forte pressão sobre os órgãos reguladores, com fabricantes alegando que a eritrosina seria segura nos níveis normalmente encontrados na dieta (3). Apesar disso, observou-se uma certa inércia institucional, já que, mesmo diante de repetidas evidências de carcinogenicidade obtidas em modelos animais, medidas efetivas demoraram a ser tomadas (46). Além disso, persistem desafios translacionais significativos, pois extrapolar os dados sobre carcinogenicidade em animais para o risco imediato em humanos é uma tarefa complexa e cheia de incertezas.

A eritrosina (E127), utilizado em alimentos, tem sido associada a diversos efeitos adversos na saúde. Estudos relatam que pode apresentar atividade mutagênica, citotóxica e genotóxica, causando danos no DNA e aumento de micronúcleos em células expostas. Em experimentos com animais, observou-se ainda disfunção hormonal e risco potencial de tumores na glândula tireoide, motivo pelo qual seu uso é restrito ou proibido em vários países e regulado por limites rigorosos de ingestão diária (34) y e finalmente banido pelo FDA (25).

4. Alternativas Naturais à Eritrosina (40,41)

O banimento acelerou a busca industrial por corantes naturais: extraídos de frutas, vegetais e flores, conferem apelo “clean label” e potenciales benefícios à saúde (17, 34, 47)

Os corantes naturais melhoram a aparência visual dos alimentos, aumentando sua atratividade e aceitação. Além disso, oferecem funcionalidade ao melhorar outras propriedades, como estabilidade, sabor e aroma, sendo preferidos por consumidores em busca de produtos mais saudáveis. Ao substituir corantes sintéticos, reduzem riscos à saúde e podem ser usados em uma grande variedade de alimentos.

Tabela 1 – Principais pigmentos naturais vermelhos como alternativas à eritrosina

Pigmento	**Fonte**	**Estabilidade***	**Aplicações**	**Benefício bioativo**	**Referências**
Antocianinas	Frutas vermelhas, uva	Estabilidade pH-depend.	Lácteos, bebidas, cárneos	Antioxidante	(17,20,21,29, 48–50)
Betalaínas	Beterraba, amaranto	pH 3–7	Iogurtes, confeitaria	Antioxidante	(17,21,48,49, 51)
Carotenoides	Tomate, pimentão	Sensível à luz	Carnes, bebidas, laticínios	Antioxidante	(21)

Pigmento gardenia	Gardenia jasminoides	Est. calor/luz/pH	Carnes, confeitos	Antioxidante/ antiinflam.	(17,21,52)
Rabanete/Batata-doce	Rabanete, batata-doce roxa	Variável	Lácteos, bebidas	Antioxidante	(17,20,21)

*A estabilidade pode ser melhorada com microencapsulamento (53). Fonte: Própria

4.1 Detalhamento dos pigmentos:

Antocianinas: pH-dependentes, instáveis térmica/luz, mas oferecem antioxidantes potentes. Aplicações amplas e potencial de modulação de cor (20, 29).

Betalaínas: Estáveis em pH ácido, limitadas por sensibilidade térmica. Aplicadas principalmente em iogurtes e confeitaria (54)

Carotenoides: Necessitam técnicas de estabilização, aplicáveis em alimentos gordurosos e bebidas (55).

Gardenia: Superior: cor intensa, estável e versátil (29).

Pigmentos de rabanete, hibisco, batata-doce roxa: Alternativas emergentes com diferentes espectros de estabilidade e cor (22)

4.2 Desafios técnicos

Ao comparar o uso de corantes sintéticos com corantes naturais na indústria alimentícia, surgem vários desafios técnicos importantes. Os corantes naturais apresentam uma estabilidade inferior em relação aos sintéticos (53), o que significa que podem perder intensidade de cor ou se degradar mais facilmente quando expostos a fatores como luz, calor, oxigênio ou variações de pH. Além disso, há uma considerável variação entre lotes de corantes naturais, o que obriga a utilização de doses maiores para obter o mesmo efeito, impactando tanto nos custos quanto na padronização dos produtos finais. Outro desafio relevante refere-se às interações destes corantes com a matriz alimentar, o pH dos alimentos e os diferentes processos industriais (29), fatores que podem afetar negativamente a cor desejada e a estabilidade do produto ao longo do tempo. Esses fatores tornam o uso de corantes naturais mais complexo e oneroso em comparação aos sintéticos.

4.3 Oportunidades e tendências

Ao analisar as tendências e avanços relacionados ao uso de corantes naturais em alimentos, é possível identificar três aspectos técnicos e mercadológicos relevantes:

Tendência clean label: O consumidor moderno demanda maior transparência das empresas, buscando produtos com rótulos limpos (clean label), ou seja, com ingredientes naturais e facilmente reconhecíveis. Essa exigência impulsiona a indústria a substituir corantes sintéticos por alternativas naturais (56), reforçando a necessidade de clareza e honestidade na comunicação dos ingredientes utilizados.

Aproveitamento de subprodutos vegetais: A utilização de subprodutos de origem vegetal na obtenção de corantes naturais contribui para a sustentabilidade, reduzindo o desperdício e gerando valor agregado à cadeia produtiva (57). Esse aproveitamento fortalece práticas ambientalmente responsáveis e oferece novos caminhos para inovação na indústria alimentícia.

Avanços em estabilização: A estabilidade dos corantes naturais tem avançado com técnicas como o microencapsulamento, a nanoemulsão e a associação de antioxidantes naturais (58). Esses métodos inovadores permitem prolongar a vida útil das cores naturais nos alimentos, protegendo-as de fatores que normalmente causariam degradação, como luz, oxigênio e variações de pH.

Essas tendências e inovações mostram como o setor alimentício se adapta às demandas do consumidor e às necessidades tecnológicas, promovendo soluções mais seguras, transparentes e sustentáveis.

CONCLUSÕES

Evidências robustas confirmam carcinogenicidade, neurotoxicidade e disrupção endócrina da eritrosina, justificando ações regulatórias baseadas no princípio da preca (12,13).

O atraso na regulação reflete dilemas entre ciência, interesses industriais e pressão social (3,46).

Alternativas naturais — antocianinas, betalaínas, carotenoides, gardenia — são viáveis e alinhadas às tendências de saudabilidade, embora apresentem desafios tecnológicos específicos (17,29).

Futuras pesquisas devem focar em aumentar estabilidade, reduzir custo e ampliar aplicações de pigmentos naturais, promovendo segurança alimentar e inovação em escala industrial.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento às instituições CONICET, UTN FRM e UFCG pelo suporte e incentivo à pesquisa, e aos autores cujos trabalhos fundamentam esta revisão.

REFERÊNCIAS

1. Barrows JN, Lipman AL, Bailey CJ. Food safety Magazine. 2003 (cited 2025 Jul 19). Color Additives: FDA's Regulatory Process and Historical Perspectives | Food Safety. Available from: https://www.food-safety.com/articles/4207-color-additives-fdas-regulatory-process-and-historical-perspectives

2. Downham A, Collins P. Colouring our foods in the last and next millennium. Int J Food Sci Technol (Internet). 2000 Feb 1 (cited 2022 May 4);35(1):5–22. Available from: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1046/j.1365-2621.2000.00373.x

3. FDA called upon to ban erythrosine (FD&C Red-3) as a food colorant in the United States. Focus on Pigments. 2023 Aug 1;2023(8):7.

4. California enacts ban on erythrosine as food colorant, but exonerates TiO2. Focus on Pigments (Internet). 2024 Sep 1 (cited 2025 Jun 21);2024(9):7. Available from: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0969621024001280

5. Singh M, Chadha P. Assessment of synthetic food dye erythrosine induced cytotoxicity, genotoxicity, biochemical and molecular alterations in Allium cepa root meristematic cells: insights from in silico study. Toxicol Res (Camb) (Internet). 2024 Jul 1 (cited 2025 Mar 18);13(4). Available from: https://dx.doi.org/10.1093/toxres/tfae126

6. Singh M, Chadha P. Gastrointestinal toxicity following sub-acute exposure of erythrosine in rats: biochemical, oxidative stress, DNA damage and histopathological studies. J Biochem Mol Toxicol (Internet). 2024 Nov 1 (cited 2025 Mar 18);38(11):e70007. Available from: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jbt.70007

7. Singh M, Chadha P. Dose-Dependent Hepatorenal Damage Induced by Erythrosine: A Study of Biochemical, Oxidative Stress, DNA Damage, and Histopathological Effects in Wistar Rats. Journal of Applied Toxicology (Internet). 2025 (cited 2025 Mar 18); Available from: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jat.4754

8. Singh M, Chadha P. Erythrosine-Induced Neurotoxicity: Evaluating Enzymatic Dysfunction, Oxidative Damage, DNA Damage, and Histopathological Alterations in Wistar Rats. Journal of Applied Toxicology (Internet). 2024 Apr 1 (cited 2025 Jun 21);45(4):576–86. Available from: /doi/pdf/10.1002/jat.4731

12. Tanaka T. Reproductive and neurobehavioural toxicity study of tartrazine administered to mice in the diet. Food and Chemical Toxicology (Internet). 2006 Feb 1 (cited 2025 Jul 18);44(2):179–87. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0278691505002231

13. G. BM, M. MM, M. KM, Hassanin O. Effect of synthetic coloring dye erythrosine (e127) in rats. Journal of Environmental Science. 2019;46(1).

14. Lakdawalla AA, Netrawali MS. Mutagenicity, comutagenicity, and antimutagenicity of erythrosine (FD and C Red 3), a food dye, in the Ames/Salmonella assay. Mutation Research/Genetic Toxicology (Internet). 1988 Feb 1 (cited 2025 Jun 21);204(2):131–9. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0165121888900833

15. Lakdawalla AA, Netrawali MS. Erythrosine, a permitted food dye, is mutagenic in the Bacillus subtilis multigene sporulation assay. Mutation Research/Genetic Toxicology (Internet). 1988 Oct 1 (cited 2025 Jul 18);206(2):171–6. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0165121888901577

16. Enríquez M, Sadid I, Karla R. Impact of the Use of Natural Colors in the Food Industry Impacto Del Uso De Colorantes Naturales En La Industria Alimentaria. Reciena. 2023;3.

18. World Health Organization - Food additives series. Safety Evaluation of Certain Food Additives: Prepared by the Eighty-Sixth Meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) (Internet). World Health Organization; 2020 (cited 2025 Jul 18). Available from: https://www.who.int/publications/i/item/9789240004580

19. Aguilar F, Dusemund B, Galtier P. Scientific Opinion on the re-evaluation of Erythrosine (E 127) as a food additive. EFSA Journal (Internet). 2011 Jan 1 (cited 2025 Jul 18);9(1):1854. Available from: https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2903/j.efsa.2011.1854

20. Khoo HE, Azlan A, Tang ST, Lim SM. Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. Food Nutr Res (Internet). 2017 (cited 2025 Jul 18);61(1). Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28970777/

21. Sanjuan Lara KP, Pérez Flores JG, Contreras López E, Soto Vega K, García Curiel L, Pérez Escalante E, et al. Exploración Integral de los Colorantes Naturales en la Industria Alimentaria: Desafíos y Oportunidades. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar. 2024 Jun 25;8(3):4586–614.

22. Estrella MAE, Infantes S, Román K. Impacto del uso de colorantes naturales en la industria alimentaria. Reciena (Internet). 2023 (cited 2025 Jul 18);3(1):7–15. Available from: https://reciena.espoch.edu.ec/index.php/reciena/article/view/31/29

23. Alappat B, Alappat J. Anthocyanin pigments: Beyond aesthetics. Molecules. 2020 Dec 1;25(23).

24. Color Additives: FDA's Regulatory Process and Historical Perspectives | Food Safety (Internet). (cited 2025 Jul 19). Available from: https://www.food-safety.com/articles/4207-color-additives-fdas-regulatory-process-and-historical-perspectives

25. U.S. Food and Drug Administration. FDA to Revoke Authorization for the Use of Red No. 3 in Food and Ingested Drugs | FDA (Internet). 2025 Jan (cited 2025 Mar 18). Available from: https://www.fda.gov/food/hfp-constituent-updates/fda-revoke-authorization-use-red-no-3-food-and-ingested-drugs

26. EFSA. Scientific Opinion on the re-evaluation of Erythrosine (E 127) as a food additive. EFSA Journal (Internet). 2011 Jan 1 (cited 2025 Jul 19);9(1). Available from: https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/1854

27. EFSA. Re-evaluation of Erythrosine (E 127) as a food additive. 2011 Feb 6 (cited 2025 Jul 19); Available from: https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/1854

29. Cortez R, Luna-Vital DA, Margulis D, Gonzalez de Mejia E. Natural Pigments: Stabilization Methods of Anthocyanins for Food Applications. Compr Rev Food Sci Food Saf (Internet). 2017 Jan 1 (cited 2025 Jul 18);16(1):180–98. Available from: /doi/pdf/10.1111/1541-4337.12244

30. Mittal J. Permissible Synthetic Food Dyes in India. Resonance. 2020;25(4).

31. Marunganathan V, Guru A. Uncovering the carcinogenicity of aromatic amines from food dyes and their link to oral cancer. Nat Prod Res (Internet). 2024 (cited 2025 Jun 21); Available from: https://scholar.google.com/scholar_url?url=https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/14786419.2024.2389309%3Fcasa_token%3D8CM1IosHTgYAAAAA:b5a0lnqeOai68qLt_mpLPqu02m8N7LtJGd9zZOauyeeCvaEbbxmjGG08AXFiliMn7B3wmt-G9agPYA&hl=es&sa=T&oi=ucasa&ct=ucasa&ei=SJxYaPG3GaalieoP6s6swAY&scisig=AAZF9b-aWJBss_7ObxmrXp8GwiLb

32. Borzelleca JF, Hallagan JB. Lifetime toxicity/carcinogenicity study of FD & C Red No. 3 (erythrosine) in mice. Food and Chemical Toxicology (Internet). 1987 Oct 1 (cited 2025 Jun 21);25(10):735–7. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0278691587902274

33. Uzcan F, Joldybayeva S, Akimbek A, Rafikova K, Jamalova G, Soylak M. A very simple and sensitive pelargonic acid based liquid phase microextraction of erythrosine from food and water samples. Environ Monit Assess (Internet). 2025 May 1 (cited 2025 Jul 18);197(5):1–8. Available from: https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-025-13954-2

34. Zanoni MVB, Yanamaka H. Corantes (Internet). https://www.culturaacademica.com.br/. Cultura Acadêmica; 2016 (cited 2025 Jul 19). 55–65 p. Available from: https://www.culturaacademica.com.br/catalogo/corantes/

35. Borzelleca JF, Capen CC, Hallagan JB. Lifetime toxicity/carcinogenicity study of FD & C Red No. 3 (erythrosine) in rats. Food and Chemical Toxicology (Internet). 1987 Oct 1 (cited 2025 Jun 21);25(10):723–33. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0278691587902262?ref=tomecontroldesusalud.com

36. Chequer FMD, Venâncio V de P, Bianchi M de LP, Antunes LMG. Genotoxic and mutagenic effects of erythrosine B, a xanthene food dye, on HepG2 cells. Food and Chemical Toxicology. 2012 Oct 1;50(10):3447–51.

37. Lafferman JA, Silbergeld EK. Erythrosin B inhibits dopamine transport in rat caudate synaptosomes. Science (1979) (Internet). 1979 (cited 2025 Jul 18);205(4404):410–2. Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/451609/

38. Nigg JT, Lewis K, Edinger T, Falk M. Meta-Analysis of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder or Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder Symptoms, Restriction Diet, and Synthetic Food Color Additives. J Am Acad Child Adolesc Psychiatry (Internet). 2012 (cited 2025 Jul 18);51(1):86. Available from: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4321798/

39. Utiger RD. The Diverse Effects of Iodide on Thyroid Function. New England Journal of Medicine (Internet). 1972 Sep 14 (cited 2025 Jul 19);287(11):562–3. Available from: /doi/pdf/10.1056/NEJM197209142871111?download=true

40. Lucas CD, Hallagan JB, Taylor SL. The role of natural color additives in food allergy. Adv Food Nutr Res. 2001;43(C):195–216.

41. Weisbrod DB, Caruana DL, Li D, Wan L, Szema AM. A Case Report of Allergic Hypersensitivity to Color Additives in Slurpee® Beverages. Yale Journal of Biology and Medicine. 2023;96(1).

42. Velázquez-Sámano G, Collado-Chagoya R, Cruz-Pantoja RA, Velasco-Medina AA, Rosales-Guevara J. Reacciones de hipersensibilidad a aditivos alimentarios. Rev

Alerg Mex (Internet). 2019 Jun 27 (cited 2025 Jul 19);66(3):329–39. Available from: https://revistaalergia.mx/ojs/index.php/ram/article/view/613

43. Bahna SL, Burkhardt JG. The dilemma of allergy to food additives. Allergy Asthma Proc. 2018 Jan 1;39(1):3–8.

44. Burrows A. Palette of Our Palates: A Brief History of Food Coloring and Its Regulation. Compr Rev Food Sci Food Saf (Internet). 2009 Oct 1 (cited 2025 Jul 19);8(4):394–408. Available from: /doi/pdf/10.1111/j.1541-4337.2009.00089.x

45. Color Additives History | FDA (Internet). (cited 2025 Jul 19). Available from: https://www.fda.gov/industry/color-additives/color-additives-history

46. Color Additives History | FDA (Internet). (cited 2025 Jul 19). Available from: https://www.fda.gov/industry/color-additives/color-additives-history

47. Choudhury AKR. Principles of colour perception. Principles of Colour and Appearance Measurement (Internet). 2014 Jan 1 (cited 2025 Jul 18);144–84. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780857092298500048

48. Patel BH. Natural dyes. Handbook of Textile and Industrial Dyeing: Principles, Processes and Types of Dyes. 2011 Jan 1;1:395–424.

49. Yadav S, Tiwari KS, Gupta C, Tiwari MK, Khan A, Sonkar SP. A brief review on natural dyes, pigments: Recent advances and future perspectives. Vol. 5, Results in Chemistry. 2023.

50. Alegbe EO, Uthman TO. A review of history, properties, classification, applications and challenges of natural and synthetic dyes. Heliyon (Internet). 2024 Jul 15 (cited 2025 Jun 15);10(13):e33646. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024096774

52. Khoo HE, Azlan A, Tang ST, Lim SM. Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. Food Nutr Res (Internet). 2017 Aug 13 (cited 2025 Jul 18); Available from: https://foodandnutritionresearch.net/index.php/fnr/article/view/1257

53. Rodriguez-Amaya DB. Natural Food Pigments and Colorants. In: Current Opinion in Food Science. 2018.

54. Esatbeyoglu T, Wagner AE, Schini-Kerth VB, Rimbach G. Betanin-A food colorant with biological activity. Mol Nutr Food Res (Internet). 2015 Jan 1 (cited 2025 Jul 18);59(1):36–47. Available from: /doi/pdf/10.1002/mnfr.201400484

55. Rodriguez-Amaya DB. Natural Food Pigments and Colorants. In: Bioactive Molecules in Food. 2019.

56. Asioli D, Aschemann-Witzel J, Caputo V, Vecchio R, Annunziata A, Næs T, et al. Making sense of the “clean label” trends: A review of consumer food choice behavior and discussion of industry implications. Food Research International (Internet). 2017 Sep 1 (cited 2025 Jul 18);99:58–71. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996917303435

57. Sigurdson GT, Tang P, Giusti MM. Natural Colorants: Food Colorants from Natural Sources. Annu Rev Food Sci Technol (Internet). 2017 Feb 28 (cited 2021 Dec 17);8:261–80. Available from: https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-food-030216-025923

58. Rodriguez-Amaya DB. Natural food pigments and colorants. Vol. 7, Current Opinion in Food Science. 2016.

APROVEITAMENTO DE SUBPRODUTOS NA PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DE LAMINADOS DE FRUTAS: UMA REVISÃO

UTILIZATION OF BY-PRODUCTS IN THE SUSTAINABLE PRODUCTION OF FRUIT LEATHERS: A REVIEW

DOI: 10.65747/conali2025v3c02

Ana Clara Rocha da Gama[1]; Erica Araujo de Jesus[1] ; Eliseth de Souza Viana[2], Taís Silva de Oliveira Brandão[3]

[1] Estudantes do Curso de Engenharia de Alimentos- UEFS;

E-mail: 22211212@discente.uefs.br

[2]Pesquisadora da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de

Mandioca e Fruticultura Tropical – EMBRAPA.

[3]Docente do Depto de Tecnologia – UEFS.

Resumo: O baixo consumo de frutas no Brasil e a geração expressiva de resíduos agroindustriais evidenciam a necessidade de soluções alimentares que aliam praticidade, valor nutricional e sustentabilidade. Nesse contexto, os laminados de frutas enriquecidas com subprodutos se apresentam como alternativas viáveis para promover uma alimentação mais saudável e reduzir o desperdício. Esta revisão teve como objetivo reunir e analisar estudos sobre a caracterização, processamento e incorporação de subprodutos, como cascas, sementes e bagaços, na formulação de laminados de frutas. Foram abordados os principais tipos de resíduos, sua composição nutricional e funcional, além das tecnologias de pré-tratamento, como secagem, moagem e extração de compostos bioativos. Também foram discutidos os efeitos da adição desses ingredientes nas propriedades físico-químicas, nutricionais, funcionais e sensoriais dos laminados. Os resultados demonstram que, quando aplicadas tecnologias adequadas, a incorporação de subprodutos contribui para o enriquecimento nutricional dos laminados, com boa aceitação sensorial e maior vida útil, além de atender às diretrizes da economia circular. Conclui-se que essa prática representa uma estratégia promissora para a valorização de resíduos, com potencial de aplicação em escala industrial, embora ainda existam desafios relacionados à padronização da matéria-prima e da formulação.

Palavras–chave: reaproveitamento de resíduos; *snacks* de fruta desidratada*;* sustentabilidade alimentar; tecnologias de secagem

Abstract: The low fruit consumption in Brazil and the significant generation of agro-industrial waste highlight the need for food solutions that combine practicality, nutritional value, and sustainability. In this context, fruit leathers enriched with by-products present a viable alternative to promote healthier eating and reduce waste. This review aimed to

gather and analyze studies on the characterization, processing, and incorporation of by-products, such as peels, seeds, and pulp, in the formulation of fruit leathers. The main types of waste, their nutritional and functional composition, and pretreatment technologies, such as drying, grinding, and extraction of bioactive compounds, were addressed. The effects of adding these ingredients on the physicochemical, nutritional, functional, and sensory properties of the fruit leathers were also discussed. The results demonstrate that, when appropriate technologies are applied, the incorporation of by-products contributes to the nutritional enrichment of the fruit leathers, with good sensory acceptance and longer shelf life, in addition to meeting circular economy guidelines. It is concluded that this practice represents a promising strategy for the valorization of waste, with potential for application on an industrial scale, although there are still challenges related to the standardization of raw materials and formulation.

Keywords: drying technologies; food sustainability; fruit-based dehydrated snacks; waste reutilization

INTRODUÇÃO

Apesar das projeções otimistas para o setor de alimentos saudáveis no Brasil (1), ainda persistem entraves relacionados ao comportamento do consumidor. Segundo a Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP), 38% dos brasileiros entrevistados consideram o preparo de alimentos saudáveis mais trabalhoso, o que pode dificultar sua inclusão no dia a dia (2). Esse cenário colabora para os baixos índices de consumo de frutas no país, sendo que apenas 37,4% dos adultos consomem frutas regularmente, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (3), embora a Organização Mundial da Saúde (OMS) recomende o consumo mínimo de 400 g diários de frutas, legumes e verduras (4).

Diante desses desafios, cresce a necessidade por alternativas alimentares que conciliem praticidade, valor nutricional e qualidade sensorial. Em resposta a essa demanda, observa-se um avanço na adoção de tecnologias que minimizem as perdas nutricionais durante o processamento. Esse movimento reflete a busca por soluções que atendam às exigências do consumidor contemporâneo sem comprometer o valor nutricional e sensorial dos alimentos (5).

Nesse contexto, os laminados de frutas, também denominados couro de fruta, *fruit leather*, fitas de fruta ou *snacks* de fruta desidratada, se apresentam como uma alternativa viável e promissora (6). Produzidos a partir da secagem de purês ou extratos frutíferos, esses produtos resultam em lâminas finas, flexíveis e ricas em fibras, com preservação das características nutricionais, sem a necessidade de adição de conservantes (7, 8, 9). Além disso, a versatilidade das formulações, aliada ao apelo sensorial que abrange sabor, textura e aparência, tem contribuído para a aceitação desses produtos pelo consumidor final (10).

Além dos aspectos nutricionais e sensoriais dos laminados de frutas, é necessário considerar a dimensão ambiental da produção de alimentos, especialmente frente aos desafios do desperdício e da sustentabilidade. A economia circular vem como um paradigma para a indústria alimentícia, propondo uma ruptura significativa com o modelo linear tradicional, ao enfatizar a reutilização, o redesenho e o reaproveitamento de materiais, com foco na redução de resíduos e regeneração de sistemas naturais (11).

Esse enfoque ganha relevância no cenário brasileiro, onde, em 2022, foram geradas cerca de 27 milhões de toneladas de resíduos de frutas e hortaliças, dos quais menos de um terço foi reaproveitado (12). Tal situação evidencia um potencial ainda subutilizado para o uso de subprodutos agroindustriais, frequentemente descartados e associados a impactos ambientais e econômicos (13).

Assim, a incorporação desses resíduos, como cascas, sementes e bagaços na formulação de alimentos, especialmente nos laminados de frutas, configura-se como uma estratégia eficiente e inovadora para, simultaneamente, reduzir o desperdício e enriquecer nutricionalmente os produtos. Estudos recentes validam essa tendência, como por exemplo o uso da casca de abacaxi que geralmente é descartada, como ingrediente funcional na produção de laminados, preservando compostos bioativos e agregando valor ao produto final (14).

Com base no panorama apresentado, esta revisão tem como objetivo reunir e analisar os principais estudos que abordam o uso de subprodutos da indústria de frutas (como bagaços, cascas e sementes) na formulação de laminados de frutas, contribuindo para o avanço do conhecimento científico.

MATERIAL E MÉTODOS

Buscou-se, por meio de levantamento bibliográfico, refletir sobre a importância do aproveitamento do excedente de safra de frutas e de seus subprodutos, considerando a tecnologia de secagem aplicada ao processamento de laminados de frutas. A pesquisa reuniu estudos, referenciais teóricos e artigos científicos sobre produção, composição e propriedades das matérias primas e produtos, com o objetivo de analisar e sintetizar informações disponíveis.

Optou-se pela revisão narrativa como estratégia metodológica, por permitir mapear e organizar saberes científicos de forma relevante para a elaboração de artigos, dissertações e teses. Diferentemente da revisão sistemática, esse modelo não exige o mesmo rigor metodológico, configurando-se como abordagem formativa e exploratória (15). A pesquisa foi realizada entre março e agosto de 2025, a partir das bases Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SciELO e Google Scholar, utilizando descritores em português e inglês relacionados à laminados de frutas e processos de secagem (laminado de frutas, *fruit leather*, *fruit roll-up*, *snacks*, subprodutos, secagem e desidratação de frutas). Foram consideradas publicações de 2018 a 2025, selecionadas mediante leitura de títulos e resumos para triagem inicial, seguida da análise integral dos artigos elegíveis.

CARACTERIZAÇÃO DOS SUBPRODUTOS DA INDÚSTRIA DE FRUTAS

Diferentemente de outros segmentos da indústria alimentícia, o setor hortícola é responsável pela geração de quantidades expressivamente maiores de resíduos, destacando-se as cascas, que representam entre 25% e 30% do total, além de outros subprodutos como sementes (16). Esses subprodutos podem representar entre 50% e 60% da massa total das frutas frescas, evidenciando um alto potencial de reaproveitamento dentro da cadeia produtiva (17). A Tabela 1 apresenta o percentual dos principais subprodutos gerados por algumas frutas de ampla utilização industrial.

Tabela 1- Percentuais de subprodutos das frutas após o despolpamento.

Fruta	Subproduto	Percentual	Fonte
Maracujá	Casca	50-60%	DELVAR et al. [18]
Manga	Casca+Caroço	25-40%	GARCÍA-MAHECHA et al. [19]
Abacaxi	Casca+ Coroa e miolo	36-46%	KIATTI et al.[20]
Goiaba	Semente	30%	ANGULO-LÓPEZ et al. [21]
Banana	Casca	35%	ZOU et al. [22]

Fonte: Autores, 2025.

Os subprodutos das frutas, como cascas e sementes, costumam ser subestimados e descartados pela indústria e pelo consumidor, sob a falsa premissa de que possuem baixo valor nutricional. No entanto, de forma geral, as cascas de frutas contêm concentrações mais elevadas de fibras, minerais e compostos bioativos do que a polpa (23). É o caso das cascas de fruta-pão e jaca, que apresentam teores elevados de fibras alimentares e compostos fenólicos, mostrando-se promissoras para uso como ingredientes funcionais (24). Dessa maneira, a Tabela 2 resume a composição química de subprodutos das frutas citadas anteriormente, destacando seus principais nutrientes e compostos bioativos.

Tabela 2 – Composição química dos subprodutos das frutas.

Subproduto	Composição química	Fonte
Maracujá	Pectina, flavonoides, fibras, compostos fenólicos.	MACEDO et al. (25)
Manga	Polifenóis, carotenoides, vitaminas A, C e E	SUMAYA-MARTÍNEZ et al. (26)
Abacaxi	Proteínas, lipídios, cinzas, carboidratos, bromelina	NORDIN et al. (27)
Goiaba	Fibras, proteínas, ferro, zinco, ácidos graxos	ALLAQABAND et al. (28)
Banana	Fibras, lipídios, proteínas, minerais	ZHANG et al. (29)

Fonte: Autores, 2025.

Os subprodutos das frutas apresentam algumas propriedades funcionais a exemplo das fibras alimentares, compostos fenólicos, ácidos graxos insaturados, vitaminas e minerais. Em especial, as interações entre compostos fenólicos e fibras podem modular a liberação e absorção desses compostos ao longo do trato gastrointestinal, influenciando sua biodisponibilidade e, consequentemente, seus efeitos funcionais no organismo (30).

A pectina, um polissacarídeo abundante na casca do maracujá, destaca-se por sua ampla aplicação industrial, especialmente na indústria alimentícia, onde é empregada como agente gelificante, espessante, emulsificante e estabilizante (31). Além de suas aplicações tecnológicas, exerce funções importantes na promoção da saúde. Sua estrutura contribui para a bioacessibilidade, biocompatibilidade e biodegradabilidade de compostos bioativos, protegendo-os contra alterações químicas e enzimáticas durante a digestão. No intestino, atua como transportadora eficiente de

proteínas, polifenóis, vitaminas e minerais, aumentando sua absorção e eficácia funcional (32).

Entre os compostos específicos, destaca-se também a bromelina, presente no abacaxi, que possui ação terapêutica multifacetada. Sua atividade se dá por mecanismos associados à sua função proteolítica, imunomoduladora e fibrinolítica, conferindo propriedades anti-inflamatórias, analgésicas, antioxidantes e anti angiogênicas (33). O uso de subprodutos no desenvolvimento de laminados de frutas pode representar uma alternativa interessante para melhorar o perfil nutricional desses produtos e contribuir com aspectos de sustentabilidade.

TECNOLOGIAS DE PROCESSAMENTO E INCORPORAÇÃO DE SUBPRODUTOS EM LAMINADOS

O aproveitamento de subprodutos na formulação de laminados de frutas demanda não apenas o conhecimento detalhado de sua composição química, mas também a adoção de estratégias tecnológicas que preservam suas propriedades funcionais. Isso se deve ao fato de que, embora os processos térmicos sejam essenciais para reduzir a carga microbiana e aumentar a vida útil dos alimentos, eles também podem provocar alterações indesejáveis na textura, no sabor, na aparência e no valor nutricional dos ingredientes (34).

Os pré-tratamentos aplicados aos subprodutos de frutas desempenham um papel importante na viabilidade de sua incorporação em alimentos. Com o avanço das pesquisas, têm sido exploradas diferentes abordagens que contribuem para melhorar as características sensoriais e funcionais dos produtos. Dentre essas estratégias, os métodos de secagem merecem destaque, pois possibilitam a obtenção de pós ou farinhas, formas que facilitam a adição dos subprodutos às matrizes alimentares (Figura 1).

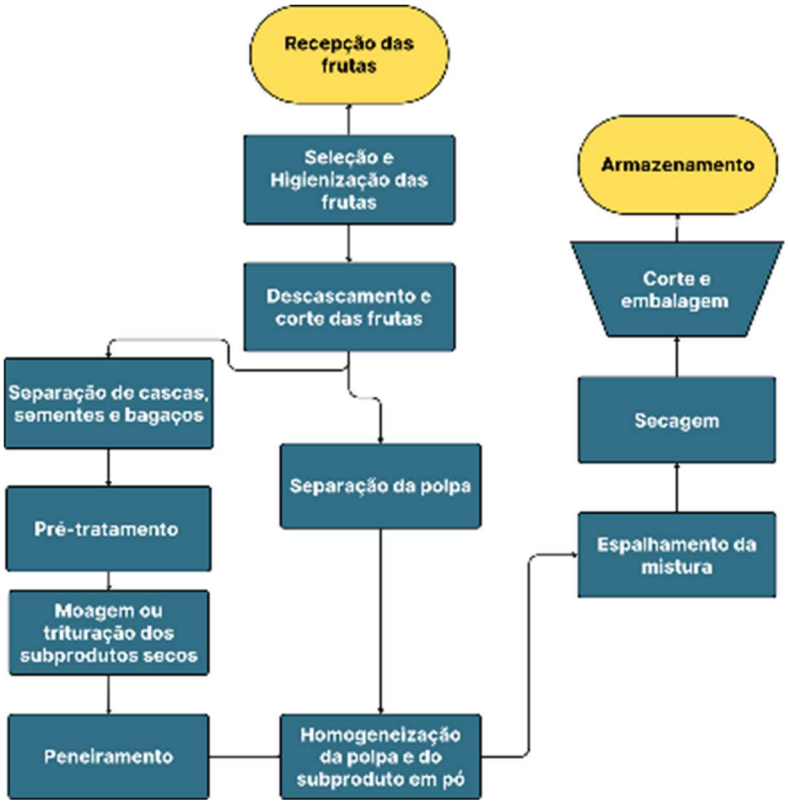


Figura 1– Processamento de laminados de frutas.

Fonte: Autores, 2025

Reconhecida como uma das técnicas mais tradicionais de conservação, a secagem baseia-se na remoção de água de materiais biológicos, promovendo a estabilidade microbiológica e físico-química dos alimentos (35). No caso de subprodutos, sua aplicação envolve transformações físicas e químicas que afetam diretamente a qualidade e as propriedades tecnológicas do material. Métodos como secagem por ar quente, a vácuo, liofilização, micro-ondas, atomização e solar são amplamente empregados, cada qual com vantagens e limitações. A seleção do método mais adequado deve considerar a natureza da matriz, o custo operacional e os impactos sobre a qualidade nutricional e funcional do produto final (36).

A secagem por ar quente (convecção forçada), geralmente conduzida entre 40 °C e 80 °C, é uma das mais utilizadas para subprodutos como cascas, bagaços e sementes. Essa técnica promove a evaporação da umidade, reduzindo a atividade de água e inativando microrganismos. Além de permitir maior vida útil, favorece a obtenção de ingredientes estáveis e fáceis de manipular, com concentração de fibras e compostos bioativos. Estudos recentes demonstram que, aplicada à casca de manga, bagaço de maçã e casca de romã, essa técnica resulta em ingredientes com bom potencial funcional, desde que as condições de temperatura e tempo sejam adequadamente ajustadas (37, 38, 39). No entanto, a exposição prolongada ao calor pode degradar compostos termossensíveis, comprometendo as características nutricionais e sensoriais do produto final (35). A secagem por convecção é amplamente adotada na indústria por sua simplicidade operacional e baixo custo. No entanto, estudos recentes indicam que frutas submetidas a esse método, especialmente em temperaturas superiores a 50 °C,

apresentam perdas significativas de compostos bioativos, como ácido ascórbico, fenólicos e antocianinas, reduzindo seu potencial antioxidante (40).

Buscando minimizar essas perdas, tecnologias como a secagem assistida por ultrassom vêm sendo exploradas. Kroehnke e Musielakb demonstraram que, ao ser combinada com a secagem por ar quente, o uso do ultrassom melhora a transferência de massa, reduz o tempo de secagem e contribui para uma melhor retenção de cor e menor atividade de água em maçãs (41). Esses resultados indicam a capacidade dessa técnica como alternativa para o processamento de subprodutos, reduzindo os impactos negativos da exposição térmica prolongada. Apesar dos avanços experimentais, o uso do ultrassom em escala industrial ainda exige maior desenvolvimento, embora estudos já apontem sua viabilidade técnico-econômica e benefícios na qualidade do produto final (42).

Por outro lado, a liofilização é considerada uma técnica menos severa, por combinar congelamento e sublimação sob baixa pressão, preservando a microestrutura, cor, aroma e compostos bioativos com maior fidelidade (43). Essa característica torna o método particularmente vantajoso quando o objetivo é manter a integridade funcional de ingredientes derivados de subprodutos de frutas.

Nesse sentido, estudo realizado por Wani e Dhanya, demonstra que a liofilização apresentou maior eficácia na preservação de compostos bioativos em comparação com outros métodos, ao estudar diferentes técnicas aplicadas ao bagaço de mirtilo (44). O processo resultou em elevados níveis de antocianinas e atividade antioxidante, além de manter a coloração e o valor nutricional do subproduto. No entanto, dado o elevado consumo energético e o alto custo associado à liofilização, a escolha entre essa técnica e a secagem convectiva deve ser levada em consideração pelas agroindústrias (45).

A secagem por micro-ondas (ou secagem dielétrica) é uma técnica que utiliza a energia eletromagnética das micro-ondas, absorvida diretamente pelas moléculas polares da água presentes no material, gerando calor de dentro para fora, diferentemente dos métodos convencionais que atuam apenas na superfície (46). Essa característica torna o processo especialmente eficaz na desidratação de subprodutos de frutas, como demonstrado por Silva et al., que obtiveram excelente desempenho na secagem da casca da pinha, com redução significativa no tempo de processamento e boa modelagem cinética utilizando 100% da potência do micro-ondas (47).

Contudo, o aquecimento gerado por micro-ondas não é uniforme, o que limita sua aplicação. Um dos principais desafios na secagem de alimentos por essa técnica é o controle da temperatura na fase final do processo, pois pode ocorrer aquecimento desigual, ruptura da camada externa do alimento e menor profundidade de penetração da radiação (48).

Outro método de secagem de subprodutos é por atomização, que consiste em pulverizar um líquido dentro de uma câmara de secagem onde o ar quente circula, promovendo a rápida evaporação da umidade e a formação de um pó fino. Em laboratório, esse processo pode ser realizado em secadores específicos, no qual a temperatura de entrada do ar quente e a vazão de alimentação do líquido são controladas como variáveis principais. A vazão do ar de secagem é mantida constante, assim como a pressão do ar, para garantir condições estáveis de secagem, produzindo assim pós finos (49).

A secagem convectiva, micro-ondas, liofilização e atomização já foram levantadas como opções para processamento de subprodutos; no entanto, a secagem

solar apresenta-se como alternativa sustentável para regiões ensolaradas como o Brasil. Conforme Prasad et al., os secadores solares (diretos, indiretos e híbridos) permitem reduzir o teor de umidade a níveis estáveis (5–25 %) e preservar parte dos compostos bioativos, com custo significativamente menor que os métodos industriais (50).

Hii et al. mostram que a secagem em secadores solares apresenta melhor qualidade visual e menor risco de contaminação comparada à secagem direta ao sol (ar livre) e ao método convectivo (51). No estudo de Mohammed et al., foram observados incrementos de sacarose e minerais, bem como menor perda de fenólicos e vitamina C em manga e abacaxi tratados em secadores solares híbridos. Isso indica que a secagem solar é viável para preparar subprodutos de frutas em farinhas ou pós, integrando sustentabilidade e funcionalidade nutricional (52).

Outra etapa relevante a ser considerada é a moagem, frequentemente empregada no início do pré-tratamento físico de subprodutos. Essa técnica tem como principal função a redução do tamanho das partículas, aumentando sua área superficial e, consequentemente, favorecendo as etapas subsequentes de processamento (53). Além disso, após a secagem, uma etapa final de moagem permite a obtenção de pós com granulometria controlada, a qual influencia diretamente a estabilidade do produto durante o armazenamento, e a liberação de compostos bioativos durante a digestão (36).

Na incorporação de subprodutos em laminados de frutas, têm sido exploradas diferentes estratégias. Entre elas, destaca-se a adição direta de subprodutos previamente secos e moídos, uma das abordagens mais comuns. Em estudo conduzido por Blejan et al., após o processo de secagem, os subprodutos foram submetidos à moagem e, peneirados em malhas de 0,5 mm, e em seguida adicionados diretamente à base de fruta (54).

Em estudo realizado por Zamankhani e Abdolahi, o óleo essencial de casca de laranja foi extraído por destilação a vapor utilizando aparelho Clevenger. As cascas foram aquecidas em balão de fundo redondo contendo água até a ebulição, permitindo a condensação do vapor carregado de compostos voláteis e, posteriormente, a separação e desidratação do óleo com sulfato de sódio anidro. O óleo obtido foi então incorporado ao purê de ameixa para a produção do laminado enriquecido (55).

Considerando a variedade de tecnologias disponíveis, a incorporação de subprodutos em laminados de frutas pode ser influenciada pela escolha dos métodos de pré-tratamento e pela compatibilidade desses ingredientes com a matriz de frutas. Técnicas como a secagem, em suas diferentes formas, e a moagem contribuem para a estabilização e o aproveitamento dos subprodutos, além de impactarem aspectos como textura, cor, valor nutricional e funcionalidade dos laminados.

EFEITOS DA INCORPORAÇÃO DE SUBPRODUTOS NAS PROPRIEDADES DOS LAMINADOS DE FRUTAS

A incorporação de subprodutos na formulação de laminados de frutas tem se mostrado uma estratégia eficaz para melhorar as propriedades físico-químicas desses produtos. A adição de pós de bagaço de mirtilo silvestre e groselha-negra, por exemplo, pode aumentar a firmeza e reduzir a luminosidade dos laminados, sem comprometer

atributos importantes como a textura e a aceitabilidade sensorial (54). A manutenção da atividade de água em níveis abaixo de 0,6 tem sido considerada uma estratégia importante para favorecer a estabilidade microbiológica do produto, contribuindo para a conservação dos laminados ao longo do tempo (56).

Além disso, a combinação adequada de subprodutos, como observado na formulação que mescla coprodutos de pêssego e polpa de manga, permite reduzir a umidade e a atividade de água, promovendo maior estabilidade microbiológica e melhor aceitação sensorial (57). Esses ajustes físico-químicos contribuem para a conservação e aprimoramento do sabor.

No que diz respeito às propriedades nutricionais, a utilização de subprodutos ricos em fibras, vitaminas e minerais tem sido reconhecida como uma forma eficaz de enriquecer os laminados de frutas. A incorporação de resíduos de kiwi, por exemplo, agrega fibras e compostos bioativos que elevam o valor nutricional do produto final sem prejudicar suas características físico-químicas. Esse enriquecimento funcional é ainda refletido no aumento da capacidade antioxidante, que está diretamente relacionado à presença de compostos fenólicos e antocianinas provenientes dos subprodutos adicionados (58). Blejan et al., associaram a inclusão de pós de bagaço a um aumento na atividade antioxidante, apontando para o potencial funcional desses alimentos (54).

Essa funcionalidade dos subprodutos também é evidenciada em outras aplicações alimentares, demonstrando sua versatilidade e eficácia. Kabir et al. , relataram que o uso de extrato de casca de banana na formulação de iogurtes resultou em produtos com atividade antioxidante significativa e vida útil prolongada. Esses achados reforçam o potencial de resíduos vegetais funcionais, como a casca de banana, para aplicação em produtos como laminados de frutas, nos quais a estabilidade oxidativa e valor funcional são igualmente desejáveis (59).

Em relação às propriedades sensoriais, embora a adição de subprodutos possa ocasionar modificações na cor e no sabor, a aceitabilidade do produto pode ser preservada ou até mesmo aprimorada quando as formulações são equilibradas. O equilíbrio entre os atributos sensoriais, como sabor, textura e aparência, é essencial para garantir a aceitação do consumidor final (54, 57). Por fim, a estabilidade físico-química e sensorial dos laminados enriquecidos com subprodutos está diretamente relacionada à formulação e às condições de armazenamento. Giacalone et al. , observaram que o uso de resíduos de kiwi (*Actinidia Arguta)* pode contribuir para a preservação de características como a perda de massa, a cor e os sólidos solúveis ao longo do tempo, fatores que estão associados à vida de prateleira dos laminados de frutas (58).

SUSTENTABILIDADE E VIABILIDADE ECONÔMICA

Em função de desafios relacionados à gestão de resíduos e à conscientização ambiental em diferentes contextos, uma parte considerável dos subprodutos gerados no processamento de frutas e hortaliças ainda é descartada, sem aproveitamento ou valorização econômica. Essa prática pode resultar na perda de materiais com potencial funcional, nutricional e comercial (60). Além disso, o descarte inadequado desses resíduos contribui diretamente para o aumento das emissões de gases de efeito estufa, considerando que os resíduos orgânicos depositados em aterros sanitários respondem

por aproximadamente 20% das emissões antropogênicas globais de metano, um gás de alto impacto no aquecimento global (61).

Entre as possíveis alternativas para o aproveitamento de subprodutos do processamento de frutas, destaca-se sua utilização na produção de laminados. Essa estratégia pode se alinhar aos princípios dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), ao buscar o uso mais eficiente dos recursos, promover a redução de resíduos e contribuir para a sustentabilidade ambiental e a viabilidade econômica da cadeia produtiva.

Ademais, a elaboração de laminados com subprodutos está alinhada aos princípios da economia circular, que visa substituir o modelo linear tradicional por sistemas baseados na reutilização, regeneração e prolongamento do ciclo de vida dos recursos (Figura 2). Como destaca Campos et al., o aproveitamento de subprodutos industriais na cadeia alimentar constitui uma alternativa sustentável, promovendo tanto a redução do desperdício quanto a geração de valor econômico e funcional (62).

Figura 2 – Ciclo de Reutilização de Subprodutos de Frutas

Fonte: gerado por IA. Plataforma Copilot em 17/07/2025.

Análises de ciclo de vida indicam que a incorporação de subprodutos na fabricação de alimentos pode reduzir significativamente os custos operacionais, a pegada ambiental e as emissões geradas durante o processamento. Drosou, Kekes e Boukouvalas demonstraram esses benefícios em indústrias de frutas, evidenciando a maior eficiência e sustentabilidade proporcionadas por técnicas inovadoras de reaproveitamento (63).

Por fim, o mercado também sinaliza uma crescente valorização dos produtos sustentáveis, pois o consumidor tem tido um interesse progressivo por alimentação saudável, onde os alimentos funcionais são considerados uma medida de melhoria na qualidade de vida. Estudos revelam que a percepção por esses tipos de alimentos não está apenas condicionada ao conhecimento, mas também às crenças e hábitos dos consumidores, além dos fatores como características demográficas e influências socioculturais (64). De modo geral, compradores tendem a pagar preços razoáveis por

esse benefício, entretanto o preço alto pode afetar a aceitação do consumidor de duas formas opostas: o preço alto pode ser fator de diminuição de intenção de compra ou associarem o aumento do preço a uma maior qualidade do produto (65). Isso reforça o potencial dos laminados de frutas produzidos com subprodutos para atender a uma demanda crescente por alimentos funcionais e ambientalmente responsáveis, ampliando sua aceitação e viabilidade comercial.

DESAFIOS, LIMITAÇÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

Apesar dos avanços nas pesquisas sobre a incorporação de subprodutos em laminados de frutas, ainda persistem desafios importantes para a consolidação dessa prática em escala industrial. Um dos principais entraves está relacionado à padronização da matéria-prima, uma vez que os subprodutos oriundos da indústria de frutas apresentam ampla variabilidade em composição química, teor de umidade e presença de compostos bioativos, fatores que influenciam diretamente o comportamento desses ingredientes durante o processamento e o desempenho tecnológico do produto final (66).

Outro ponto refere-se às limitações sensoriais. Embora os subprodutos possam enriquecer os laminados com fibras e compostos antioxidantes, sua adição pode alterar atributos como cor, sabor, aroma e textura, impactando negativamente a aceitação do consumidor (9).

Além disso, questões relativas à segurança alimentar e à regulamentação ainda limitam a adoção ampla de subprodutos alimentícios. A contaminação por pesticidas, micotoxinas ou metais pesados, bem como a presença de fatores antinutricionais, pode representar riscos à saúde quando esses resíduos são utilizados sem critérios rigorosos de triagem e processamento (67). Dessa forma, a elaboração de normas específicas e protocolos analíticos pode ser uma medida importante para garantir a segurança dos subprodutos utilizados como ingredientes alimentícios, favorecendo a conformidade regulatória e a aceitação pelo consumidor

Ainda são escassos os dados sobre a biodisponibilidade e os efeitos sinérgicos dos compostos bioativos presentes em subprodutos vegetais quando incorporados a matrizes alimentares complexas, como os laminados de frutas. A interação entre fibras e compostos bioativos pode alterar a forma como esses compostos são disponibilizados ao organismo, mas os dados em humanos ainda são limitados e insuficientes para garantir seu valor funcional real (68). Paralelamente, estudos de aceitação sensorial e análises econômicas detalhadas são fundamentais para viabilizar a transferência tecnológica dessas formulações para a indústria.

Com isso, as perspectivas futuras para o desenvolvimento de laminados de frutas enriquecidas com subprodutos são promissoras. A convergência entre ciência dos alimentos, sustentabilidade e comportamento do consumidor abre caminho para a consolidação dos laminados como *snacks* saudáveis, sustentáveis e com alto valor funcional, alinhados às demandas de uma alimentação mais consciente e ambientalmente responsável (69).

CONCLUSÕES

Esta revisão bibliográfica reuniu estudos que evidenciam o potencial da incorporação de subprodutos de frutas na formulação de laminados. Cascas, sementes e bagaços, antes descartados, demonstraram alto valor nutricional e funcional, com destaque para fibras, compostos fenólicos, vitaminas e minerais. Métodos de pré-tratamento, como secagem e moagem, mostraram-se importantes para preservar esses compostos e melhorar a incorporação do subproduto ao laminado de frutas. Tecnologias sustentáveis, como secadores solares híbridos, também se destacam em meio a essa abordagem. Os benefícios incluem melhorias nas propriedades físico-químicas, funcionais e na vida útil dos laminados, além de promoverem a sustentabilidade ao reduzir o desperdício e o impacto ambiental. Contudo, ainda há desafios quanto à variabilidade dos subprodutos, à padronização dos processos e à aceitação sensorial.

AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pelas bolsas de iniciação científica concedidas; à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura Tropical – EMBRAPA pela parceria no projeto de pesquisa; à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia - FAPESB, pelo financiamento do projeto de pesquisa.

REFERÊNCIAS

1 BORGES, C. A.; GABE, K. T.; CANELLA, D. S.; JAIME, P. C. Caracterização das barreiras e facilitadores para alimentação adequada e saudável no ambiente alimentar do consumidor. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 37, supl. 1, 2021. DOI: 10.1590/0102-311X00157020.

2 SUPER VAREJO. Com valor de mercado de R$100 bilhões, consumo de alimentos saudáveis está crescendo desde a pandemia. 2023. Disponível em: https://www.supervarejo.com.br/saudabilidade/com-valor-de-mercado-de-r100-bilhoes-consumo-de-alimentos-saudaveis-esta-em-crescimento-desde-a-pandemia. Acesso em: 3 jun. 2025.

3 INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa de Orçamentos Familiares 2017-2018: análise do consumo alimentar pessoal no Brasil**. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro : IBGE, 2020. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101742.pdf. Acesso em: 3 jun. 2025.

4 ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Healthy diet**. (S. l.: s. n.), (s. d.). Disponível em: https://www.who.int/health-topics/healthy-diet#tab=tab_2. Acesso em: 3 jun. 2025.

5 TOY, J. Y. H.; CHIN, F. W. L.; ZHANG, L.; JING, L.; YANG, X.; HUANG, D. Novel food processing technologies for retaining nutrition of horticultural food products. **Future Postharvest and Food**, v. 1, n. 2, p. 198-212, 2024. DOI: 10.1002/fpf2.12014.

6 MPHAPHULI, T.; MANHIVI, V. E.; SLABBERT, R.; SULTANBAWA, Y.; SIVAKUMAR, D. Enrichment of Mango Fruit Leathers with Natal Plum *(Carissa macrocarpa)* Improves Their Phytochemical Content and Antioxidant Properties. **Foods**, Basel, v. 9, n. 4, p. 431, 2020. DOI: 10.3390/foods9040431.

7 ARISUT, B. A.; ORMANLI, E.; TAVMAN, S.; KUMCUOGLU, S. Production of functional fruit snacks and determination of quality characteristics. **Food Science & Nutrition**, v. 13, n. 4, p. e70056, 2025. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12006922/. Acesso em: 7 jul. 2025.

8 SHINCY, A.; MADALAGERI, D.; HANUMANTHRAJU, K. N.; MANOJ, M.; PREMANANTHAN, P. Fruit leathers as functional snacks: A comprehensive review on formulation, drying technologies, quality attributes, and market potential. **Journal of Advance and Future Research**, v. 3, n. 6, p. 269-278, 2025. Disponível em: https://rjwave.org/jaafr/papers/JAAFR2506032.pdf. Acesso em: 7 jul. 2025.

9 ALAM, M.; RAWAT, M.; KAUR, S.; DAR, B. N.; NANDA, V. Transformation of Quality Attributes of Fruit Leathers Using Diverse Hydrocolloids: Recent Application and Future Perspective. **Journal of Food Process Engineering**, (S. l.), v. 47, n. 11, p. e14782, nov. 2024. DOI:10.1111/jfpe.14782.

10 CASTILLO, M.; PONS-GÓMEZ, A.; ALBERT-SIDRO, C.; DELPOZO, B.; BESADA, C. Acceptance, sensory characterization and consumption contexts for dehydrated persimmon slices, chips, leathers and powder: a consumer study. **Foods**, v. 12, n. 10, p. 1966, 2023. DOI: 10.3390/foods12101966.

11 ALMEIDA-GUZMÁN, M.; DÍAZ-GUEVARA, C. Economía circular, una estrategia para el desarrollo sostenible: avances en Ecuador. **Estudios de la Gestión**, Quito, n. 8, p. 35–57, jul./dez. 2020. DOI: https://doi.org/10.32719/25506641.2020.8.10.

12 CARVALHO, I. de P.; COSTA, G. A.; FERREIRA, M. S. de S. Percepções dos consumidores sobre o uso de subprodutos de frutas e hortaliças na elaboração de novos produtos alimentícios. In: **Agron Food Academy**. Ciência e tecnologia de alimentos: pesquisas e avanços**.** v. 3. p. 144–154, 2023. DOI: 10.53934/9786585062060-11.

13 YAASHIKAA, P. R.; KUMAR, P.; VARJANI, S. Valorization of agro-industrial wastes for biorefinery process and circular bioeconomy: A critical review. **Bioresource Technology**, v. 343, 126126, 2022. Disponível em:

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852421014681. Acesso em: 2 jul. 2025.

14 ROSIDA; SAROFA, U.; PERTIWI, A. P. Utilization of pineapple cobs and peels for fruit leather processing. **Technium: Romanian Journal of Applied Sciences and Technology**, v. 16, n. 1, p. 393–396, 2023. Disponível em: https://www.techniumscience.com.pluscommunication.eu/index.php/technium/article/view/10017. Acesso em: 3 jun. 2025.

15 ANDRADE, M. C. R. O papel das revisões de literatura na produção e síntese do conhecimento científico em Psicologia. **Gerais: Revista Interinstitucional de Psicologia**, Belo Horizonte, v. 14, n. spe, p. 1–5, dez. 2021. Disponível em: https://doi.org/10.36298/gerais202114e23310. Acesso em: 15 ago. 2025.

16 GUPTA, R. K.; ALI, E. A. E.; GAWAD, F. A. E.; DAOOD, V. M.; SABRY, H.; KARUNANITHI, S.; SRIVASTAV, P. P. Valorization of fruits and vegetables waste byproducts for development of sustainable food packaging application. **Waste Management Bulletin**, v. 2, p. 21–40, 2024. DOI: 10.1016/j.wmb.2024.08.005.

17 TESHOME, E.; TEKA, T. A.; NANDASIRI, R.; RANJAN, R. J.; VOUKANG HAROUNA, D.; ASTATKIE, T.; URUGO, M. M. Fruit by-products and their industrial applications for nutritional benefits and health promotion: a comprehensive review. **Sustainability**, Basel, v. 15, n. 10, p. 7840, 2023. DOI: 10.3390/su15107840.

18 DELVAR, A.; DE CARO, P.; CANDY, L.; CARO, Y.; SHUM CHEONG SING, A.; RAYNAUD, C. Integrated process for extraction and formulation in emulsions of active molecules from fresh passion fruits (Passiflora edulis Sims). **Journal of Food Engineering,** v. 263, p.388–397,2019.DOI:https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.07.014.

19 GARCÍA-MAHECHA, M.; SOTO-VALDEZ, H.; CARVAJAL-MILLAN, E.; MADERA-SANTANA, T. J.; LOMELÍ-RAMÍREZ, M. G.; COLÍN-CHÁVEZ, C. Bioactive Compounds in Extracts from the Agro-Industrial Waste of Mango. **Molecules**, (S. l.), v. 28, n. 1, p. 458, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/molecules28010458.

20 KIATTI, D. D.; VASTOLO, A.; KOURA, B. I.; VITAGLIONE, P.; CUTRIGNELLI, M. I.; CALABRÒ, S. The Chemical Characteristics and In Vitro Degradability of Pineapple By-Products as Potential Feed for Ruminants. **Animals**, Basel, v. 13, n. 20, p. 3238, out. 2023. DOI: 10.3390/ani13203238.

21 ANGULO-LÓPEZ, J. E.; FLORES-GALLEGOS, A. C.; TORRES-LEÓN, C.; RAMÍREZ-GUZMÁN, K. N.; MARTÍNEZ, G. A.; AGUILAR, C. N. Guava *(Psidium guajava L.)* Fruit and Valorization of Industrialization By-Products. **Processes**, v. 9, n. 6, p. 1075, 2021. DOI: 10.3390/pr9061075.

22 ZOU, F.; TAN, C.; ZHANG, B.; WU, W.; SHANG, N. The Valorization of Banana By-Products: Nutritional Composition, Bioactivities, Applications, and Future Development. **Foods**, Basel, v. 11, n. 20, art. 3170, 11 out. 2022. DOI: 10.3390/foods11203170.

23 CZECH, A.; MALIK, A.; SOSNOWSKA, B.; DOMARADZKI, P. Bioactive substances, heavy metals, and antioxidant activity in whole fruit, peel, and pulp of citrus fruits. **International Journal of Food Science**, (S. l.), 10 p., 2021. DOI: 10.1155/2021/6662259.

24 BRAMONT, W. B.; LEAL, I. L.; UMSZA-GUEZ, M. A.; GUEDES, A. S.; ALVES, S. C. O.; REIS, J. H. O.; BARBOSA, J. D. V.; MACHADO, B. A. S. Comparação da composição centesimal, mineral e fitoquímica de polpas e cascas de dez diferentes frutas. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 4, 2018. Disponível em: https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/2111. Acesso em: 4 jun. 2025.

25 MACEDO, M. C. C.; CORREIA, V. T. V.; SILVA, V. D. M.; PEREIRA, D. T. V.; AUGUSTI, R.; MELO, J. O. F.; PIRES, C. V.; PAULA, A. C. C. F.; FANTE, C. A. Development and characterization of yellow passion fruit peel flour (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*). **Metabolites**, Basel, v. 13, n. 6, p. 1–15, 2023. Disponível em: https://www.mdpi.com/2218-1989/13/6/684. Acesso em: 2 jul. 2025.

26 SUMAYA-MARTÍNEZ, M. T.; MEDINA-CARRILLO, R. E.; GONZÁLEZ-OCEGUEDA, E.; JIMÉNEZ-RUIZ, E. I.; BALOIS-MORALES, R.; SÁNCHEZ-HERRERA, L. M.; LÓPEZ-NAHUATT, G. Mango (*Mangifera indica* L.) pulping by-products: antioxidant activity and bioactive compounds of three mango cultivars. **Revista Bio Ciencias**, Tepic, v. 6, e560, 2019. Disponível em: https://revistabiociencias.uan.edu.mx/index.php/BIOCIENCIAS/article/view/560.Acesso em: 2 jul. 2025.

27 NORDIN, N. L.; SULAIMAN, R.; BAKAR, J.; NORANIZAN, M. A. Comparison of phenolic and volatile compounds in MD2 pineapple peel and core. **Foods**, Basel, v. 12, n. 11, art. 2233, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.3390/foods12112233. Acesso em: 2 jul. 2025.

28 ALLAQABAND, S.; DAR, A. H.; PATEL, U.; KUMAR, N.; NAYIK, G. A.; KHAN, S. A.; ANSARI, M. J.; ALABDALLAH, N. M.; KUMAR, P.; PANDEY, V. K.; KOVÁCS, B.; SHAikh, A. M. Utilization of fruit seed-based bioactive compounds for formulating the nutraceuticals and functional food: a review. **Frontiers in Nutrition**, Lausanne, v. 9, art. 902554, 2022. Disponível em: https://www.frontiersin.org/journals/nutrition/articles/10.3389/fnut.2022.902554/full. Acesso em: 2 jul. 2025.

29 ZHANG, L.; ZHANG, C.; WEI, Z.; HUANG, W.; YAN, Z.; LUO, Z.; BETA, T.; XU, X. Effects of four drying methods on the quality, antioxidant activity and anthocyanin components of blueberry pomace. **Food Production, Processing and Nutrition**, (S. l.), v. 5, p. 35, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1186/s43014-023-00150-3. Acesso em: 9 jul. 2025.

30 ROCCHETTI, G.; PÉREZ GREGORIO, R.; LORENZO, J. M.; BARBA, F. J.; GARCÍA OLIVEIRA, P.; PRIETO, M. A.; SIMAL-GANDARA, J.; MOSELE, J. I.; MOTILVA, M.-J.; TOMAS, M.; PATRONE, V.; CAPANOGLU, E.; LUCINI, L. Functional implications of bound phenolic compounds and phenolics–food interaction: A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 21, p. 811–842, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1111/1541-4337.12921. Acesso em: 3 jul. 2025.

31 YU, M.; XIA, Y.; ZHOU, M.; GUO, Y.; ZHENG, J.; ZHANG, Y. Effects of different extraction methods on structural and physicochemical properties of pectins from finger citron pomace. **Carbohydrate Polymers**, v. 258, p. 117662, 2021. DOI: 10.1016/j.carbpol.2021.117662.

32 BARRERA-CHAMORRO, L.; FERNÁNDEZ-PRIOR, Á.; RIVERO-PINO, F.; MONSERRAT-DE LA PAZ, S. A comprehensive review on the functionality and biological relevance of pectin and the use in the food industry. **Carbohydrate Polymers**, (S.l.), v. 348, art. 122794, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.122794. Acesso em: 3 jul. 2025.

33 KANSAKAR, U.; GURUNG, S.; SHARMA, A. Exploring the therapeutic potential of bromelain: a comprehensive review of its bioactivity and biomedical applications. **Frontiers in Pharmacology**, (S. l.), 2024. Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC11243481/. Acesso em: 3 jul. 2025

34 PÉREZ-LAMELA, C.; FRANCO, I.; FALQUÉ, E. Impact of processing technologies on quality attributes of fruit-based products: a comprehensive review. **Molecules**, v. 26, n. 17, art. 5265, ago. 2021. DOI: 10.3390/molecules26175265.

35 XU, B.; TILIWA, E. S.; YAN, W.; AZAM, S. M. R.; WEI, B.; ZHOU, C.; MA, H.; BHANDARI, B. Recent development in high quality drying of fruits and vegetables assisted by ultrasound: a review. **Food Research International**, Amsterdam, v. 152, art. 110744, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110744.

36 RAMÍREZ-PULIDO, B.; BAS-BELLVER, C.; BETORET, N.; BARRERA, C.; SEGUÍ, L. Valorization of vegetable fresh-processing residues as functional powdered ingredients: A review on the potential impact of pretreatments and drying methods on bioactive compounds and their bioaccessibility. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, (S. l.), v. 5, p. 654313, 2021. Disponível em: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2021.654313/full. Acesso em: 8 jul. 2025.

37 KRAJEWSKA, A.; DZIKI, D.; YILMAZ, M. A.; ÖZDEMIR, F. A. Physicochemical Properties of Dried and Powdered Pear Pomace. **Molecules**, (S. l.), v. 29, n. 3, p. 742, fev. 2024. DOI: 10.3390/molecules29030742.

38 WANDERLEY, R. O. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; SANTOS, F. S.; PAIVA, Y. F.; FERREIRA, J. P. L.; LIMA, A. G. B.; GOMES, J. P.; COSTA, C. C.; SILVA, W. P.; SANTOS, D. C.; MARACAJÁ, P. B. The temperature influence on drying kinetics and physico-chemical properties of pomegranate peels and seeds. **Foods**, Basel, v. 12, n. 2, p. 286, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.3390/foods12020286. Acesso em: 8 jul. 2025.

39 ARAÚJO, B. Z. R.; MARTINS, V. F. R.; PINTADO, M. E.; MORAIS, R. M. S. C.; MORAIS, A. M. M. A comparative study of drying technologies for apple and ginger pomace: kinetic modeling and antioxidant properties. **Processes**, Basel, v. 12, n. 10, p. 2096, 2024. DOI: 10.3390/pr12102096.

40 KITTIBUNCHAKUL, S.; TEMVIRIYANUKUL, P.; CHAIKHAM, P.; KEMSAWASD, V. Effects of freeze drying and convective hot-air drying on predominant bioactive compounds, antioxidant potential and safe consumption of maoberry fruits. **LWT – Food Science and Technology**, v. 184, art. 114992, 15 jul. 2023. DOI: 10.1016/j.lwt.2023.114992.

41 KROEHNKE, J.; MUSIELAK, G. Ultrasound-assisted drying of apples – process kinetics, energy consumption, and product quality. **Drying Technology**, v. 42, n. 11, p. 1757–1765, 2024. DOI: 10.1080/07373937.2024.2388305.

42 FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S. Ultrasound applications in drying of fruits from a Sustainable Development Goals perspective. **Ultrasonics Sonochemistry**, (S. l.), v. 95, p. 106375, 2023. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417723001426. Acesso em: 9 jul. 2025.

43 PROSAPIO, V.; QUIROGA, L. E. Freeze-drying technology in foods. **Foods, Basel**, v. 9, n. 7, p. 920, 2020. DOI: 10.3390/foods9070920. Disponível em: https://www.mdpi.com/2304-8158/9/7/920. Acesso em: 9 jul. 2025.

44 WANI, K. M.; DHANYA, M. Unlocking the potential of banana peel bioactives: extraction methods, benefits, and industrial applications. **Discover Food**, (S. l.), 2025. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s44187-025-00276-y. Acesso em: 2 jul. 2025.

45 INADA, K. O. P.; NUNES, S.; MARTÍNEZ-BLÁZQUEZ, J. A.; TOMÁS-BARBERÁN, F. A.; PERRONE, D.; MONTEIRO, M. Efeito de métodos de alta pressão hidrostática e secagem no perfil de compostos fenólicos da jabuticaba (Myrciaria jaboticaba) descasque e semeie. **Química dos Alimentos**, v. 309, art. 125794, 2020. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814619319272?via%3Dihub. Acesso em: 2 jul. 2025.

46 GÓMEZ, R. S.; MAGALHÃES, H. L. F.; PORTO, T. R. N.; LIMA, E. S.; SANTANA, R. A. C.; GOMES, K. C.; LIMA, W. M. P. B.; LIMA, A. G. B. Drying process of clay ceramic materials: a review. **Research, Society and Development**, (S. l.), v. 9, n. 11, p. e78591110300, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i11.10300.

47 SILVA, G. B.; MALAQUIAS, A. B.; MACEDO, A. D. B.; CAMPOS, A. R. N. Estudo da cinética de secagem dos resíduos da pinha (Annona squamosa L.) em forno micro-ondas. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM CIÊNCIAS, 6., 2022, Campina Grande. **Anais** (...). Campina Grande: Editora Realize, 2022. Disponível em: https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/86925. Acesso em: 9 jul. 2025.

48 ZIELIŃSKA, M.; ROPELEWSKA, E.; XIAO, H. W.; MUJUMDAR, A. S.; LAW, C. L. Review of recent applications and research progress in hybrid and combined microwave-assisted drying of food products: quality properties. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 60, p. 2212–2264, 2020.

49 ALISSA, K.; PENDURADO, Y.-C.; HOU, C. Y.; LIM, G. C. W.; CIOU, J. Developing new health material: The utilization of spray drying technology on avocado (Persea americana Mill.) seed powder. **Foods**, (S. l.), v. 9, n. 2, p. 139, fev. 2020. Disponível em: https://www.mdpi.com/2304-8158/9/2/139. Acesso em: 9 jul. 2025.

50 PRASAD, G.; SARKAR, S.; SETHI, L. Solar drying technology for agricultural products: a review. **Agricultural Reviews**, (S. l.), v. 45, n. 4, p. 579–589, dez. 2024. DOI: 10.18805/ag.R-2457.

51 HII, C. L.; ONG, S. P.; CHIANG, C. L.; MENON, A. S. A. A review of quality characteristics of solar dried food crop products. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 292, p. 012054, 2019. DOI: 10.1088/1755-1315/292/1/012054.

52 MOHAMMED, S.; MAKULE, E.; KAYONDO, S. The effect of traditional and improved solar drying methods on the sensory quality and nutritional composition of fruits: A case of mangoes and pineapples. **Heliyon**, (S. l.), v. 6, n. 6, e04163, 2020. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e04163.

53 FUSO, A.; RISSO, D.; ROSSO, G.; ROSSO, F.; MANINI, F.; MANERA, I.; CALIGIANI, A. Potential valorization of hazelnut shells through the extraction, purification and structural characterization of prebiotic compounds: a critical review. **Foods**, (S. l.), v. 10, n. 6, p. 1197, 2021. Disponível em: https://www.mdpi.com/2304-8158/10/6/1197. Acesso em: 9 jul. 2025.

54 BLEJAN, A. M.; NOUR, V.; CODINĂ, G. G. Physicochemical and functional characterization of pear leathers enriched with wild bilberry and blackcurrant pomace powders. **Agronomy, Basel**, v. 14, n. 9, p. 2048, 2024. DOI: 10.3390/agronomy14092048.

55 ZAMANKHANI, N.; ABDOLAHI, M. Formulation and characterization of plum fruit leather enriched with orange peel oil. **Research in Food Science and Technology**, v. 6, n. 2, p. 67-79, 2019. DOI: 10.22127/rfst.2019.93513.

56 KURNIADI, M.; PARNANTO, N. H.; SAPUTRI, M. W.; FREDIANSYAH, A. The effect of kappa-carrageenan and gum Arabic on the production of guava-banana fruit leather. **Food Science & Nutrition**, (S. l.), 2022. Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9253237/. Acesso em: 17 jul. 2025.

57 TEIXEIRA, N. S.; PONTES, S. M.; TORREZAN, R.; NOGUEIRA, R. I.; FREITAS-SÁ, D. D. G. C.; KROLOW, A. C. R.; MATTA, V. M. Desenvolvimento de fruta laminada a partir de coproduto do processamento de purê de pêssego. *In:* CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE HORTICULTURA, 2018, Lisboa. **Actas Portuguesas de Horticultura**. Lisboa: Associação Portuguesa de Horticultura, 2018. v. 29. p. 180-185.

58 GIACALONE, G.; SILVA, T. M. da; PEANO, C.; GIUGGIOLI, N. R. Development of fruit leather from Actinidia arguta by-product: quality assessment and shelf life studies. **Italian Journal of Food Science**, v. 31, p. 470–486, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/335757439. Acesso em: 13 jul. 2025.

59 KABIR, M. R.; HASAN, M. M.; ISLAM, M. R.; HAQUE, A. R.; HASAN, S. M. K. Formulation of yogurt with banana peel extracts to enhance storability and bioactive properties. **Journal of Food Processing and Preservation**, Hoboken, v. 45, n. 3, e15191, 2020. DOI: 10.1111/jfpp.15191.

60 OZKAN, G.; GÜNAL-KÖROĞLU, D.; CAPANOGLU, E. Valorization of fruit and vegetable processing by-products/wastes. *In*: CAPANOGLU, E.; NAVARRO-HORTAL, M. D.; HERNÁNDEZ, F. T. Y.; BATTINO, M. (Ed.). Valorization of Wastes/by-products in the Design of Functional Foods/Supplements, v. 107, p. 1–39. **Advances in Food and Nutrition Research**, Academic Press Inc., 2023. DOI: 10.1016/bs.afnr.2023.06.002.

61 PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA). O metano e sua contribuição para o efeito estufa: resíduos orgânicos em aterros sanitários. Disponível em: https://www.unep.org/pt-br/topics/acao-climatica/mitigacao/industria. Acesso em: 14 jul. 2025.

62 CAMPOS, D. A.; GÓMEZ-GARCÍA, R.; VILAS-BOAS, A. A.; MADUREIRA, A. R.; PINTADO, M. M. Management of fruit industrial by-products - a case study on circular economy approach. **Molecules**, (S. l.), v. 25, n. 2, p. 320, 2020. DOI: 10.3390/molecules25020320.

63 DROSOU, F.; KEKES, T.; BOUKOUVALAS, C. Life cycle assessment of the canned fruits industry: sustainability through waste valorization and implementation of innovative techniques. **AgriEngineering**, Basel, v. 5, n. 1, p. 395–412, 2023. Disponível em: https://www.mdpi.com/2624-7402/5/1/26. Acesso em: 13 jul. 2025.

64 PONTE, L. G. S.; RIBEIRO, S. F.; ANTUNES, A. E. C.; BEZERRA, R. M. N.; DA CUNHA, D. T. From tradition to science: Regional differences in the belief in functional

foods in Brazil. **Food and Humanity**, V. 5, p. 100688, 2025. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2949824425001922?via%3Dihub. Acesso em: 16 jul. 2025.

65 BAKER, M. T.; LU, P.; PARRELLA, J. A.; LEGGETTE, H. R. Consumer acceptance toward functional foods: a scoping review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Basel, v. 19, n. 3, art. 1217, 22 jan. 2022. Disponível em: https://www.mdpi.com/1660-4601/19/3/1217. Acesso em: 17 jul. 2025.

66 RODRIGUES, G. de M.; GARCIA, V. A.; YOSHIDA, C. M.; VANIN, F. M.; CARVALHO, R. A. Fruit-Based Leathers: A Comprehensive Review of Terminologies, Composition, and Quality Attributes. **Food Science and Engineering**, (S. l.), v. 4, n. 2, p. 216–3, 18 ago. 2023. DOI: 10.37256/fse.4220232791.

67 HASAN, M. M.; ISLAM, M. R.; HAQUE, A. R.; UDDIN, M. A.; HOQUE, M. A.; SULTANA, S.; BHUIYAN, M. K. Trends and challenges of fruit by-products utilization: insights into safety, sensory, and benefits of the use for the development of innovative healthy food: a review. **Bioresources and Bioprocessing**, (S. l.), v. 11, p. 10, 2024. Disponível em: https://bioresourcesbioprocessing.springeropen.com/articles/10.1186/s40643-023-00722-8. Acesso em: 9 jul. 2025.

68 NÚÑEZ-GÓMEZ, N.; GONZÁLEZ-BARRIO, R.; PERIAGO, M. J. Interactions between dietary fiber and bioactive compounds: a review of the evidence and implications for health. **Antioxidants**, Basel, v. 12, n. 4, p. 861, 2023. Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10135553/. Acesso em: 17 jul. 2025.

69 SANI, I. K.; MASOUDPOUR-BEHABADI, M.; ALIZADEH SANI, M.; MOTALebINEJAD, H.; JUMA, A. S. M.; ASDAGH, A.; EGHBALJOO, H.; KHODAEI, S. M.; RHIM, J.-W. Value-added utilization of fruit and vegetable processing by-products for the manufacture of biodegradable food packaging films. **Food Chemistry**, v. 405, art. 134964, mar. 2023.

BLEND DE HAMBÚRGUER BOVINO COM COGUMELO DO TIPO SHIMEJI BRANCO: QUALIDADE QUÍMICA E FÍSICA

BEEF BURGER BLEND WITH WHITE SHIMEJI MUSHROOM: CHEMICAL AND PHYSICAL QUALITY

DOI: 10.65747/conali2025v3c03

Ana Jessyca da Silva Cavalcanti [1]; Raimundo Bernadino Filho [2]; Larissa Mylena Mendes Dias [3]; Karina Barbosa dos Santos [3]; Artur Xavier Mesquita de Queiroga[4] Romário Oliveira de Andrade [5]

[1] Engenheira de Alimentos – UFAPE

[2] Docente no Departamento de Engenharia de Alimentos - UFAPE; E-mail: raimundo.bernadino@ufape.edu.br

[3] Discente do Curso de Engenharia de Alimentos – UFAPE

[4] Docente no Instituto Federal do Mato Grosso - IFMT

[5] Docente na Universidade Estadual da Paraíba - UEPB

Resumo: A crescente demanda por produtos alimentícios saudáveis e sustentáveis estimula a inovação na indústria alimentícia, levando à exploração de alternativas que atendam às expectativas dos consumidores. Este estudo avaliou a viabilidade de blends de hambúrguer bovinos com substituição parcial de carne por cogumelos Shimeji Branco, focando em seu desenvolvimento e nas suas propriedades físico-químicas e físicas. Três formulações de hambúrgueres foram desenvolvidas com concentrações variadas de cogumelo. Foram realizadas análises de composição centesimal, físicas, rendimento de cocção e determinação do valor energético. Todas as amostras se enquadraram dentro dos limites físico-químicos estabelecidos pela legislação vigente no Brasil e apresentaram um valor energético menor do que as formulações de hambúrgueres bovino comercializadas. Na análise de rendimento na cocção houve uma variação de 62,09% a 66,12%. A menor redução no rendimento foi observada nas amostras com menor proporção de cogumelo, enquanto as amostras com maior substituição apresentaram um desempenho reduzido. A capacidade de retenção de água das amostras variou significativamente, com valores mais altos em amostras com maior proporção de cogumelo, refletindo uma boa capacidade de retenção de umidade, o que é desejável para a qualidade do produto. A porcentagem de encolhimento variou de 7,33% a 13,33%, com as amostras contendo maiores quantidades de cogumelo apresentando menor encolhimento, indicando uma melhor retenção de umidade e gordura durante a cocção. Desse modo, as amostras com maior proporção de cogumelos apresentaram menor valor energético, melhor retenção de água e menor encolhimento, o que indica uma melhora na qualidade geral do produto.

Palavras–chave: blend; cogumelos; hambúrguer; carne bovina; shimeji branco.

Abstract: The growing demand for healthy and sustainable food products is driving innovation in the food industry, leading to the exploration of alternatives that meet consumer expectations. This study evaluated the viability of beef burger blends with partial meat replacement by White Shimeji mushrooms, focusing on their development and their physicochemical and physical properties. Three burger formulations were developed with varying mushroom concentrations. Analysis of proximate composition, physical properties, cooking yield, and energy value were performed. All samples fell within the physicochemical limits established by current Brazilian legislation and presented a lower energy value than commercially available beef burger formulations. Cooking yield analysis showed a variation of 62.09% to 66.12%. The smallest reduction in yield was observed in samples with a lower proportion of mushrooms, while samples with a higher replacement rate showed reduced performance. The water retention capacity of the samples varied significantly, with higher values in samples with a higher proportion of mushrooms, reflecting good moisture retention capacity, which is desirable for product quality. The shrinkage percentage ranged from 7.33% to 13.33%, with samples containing higher amounts of mushrooms showing less shrinkage, indicating better moisture and fat retention during cooking. Thus, samples with a higher proportion of mushrooms had lower energy value, better water retention, and less shrinkage, indicating an improvement in overall product quality.

Keywords: blend; mushrooms; hamburger; beef; white shimeji.

INTRODUÇÃO

Atualmente os consumidores estão mais cientes da necessidade de uma alimentação saudável e eles buscam alimentos que sejam saborosos, visualmente atrativos e que, ao mesmo tempo, visem a saúde e bem-estar. Isto tem sido um desafio para a indústria de alimentos e profissionais da área na busca por ingredientes funcionais e reformulações de produtos para atender essa necessidade por alimentos industrializados que forneçam os nutrientes indispensáveis ao organismo e proporcionem benefícios adicionais à saúde. Dentre esses ingredientes temos os alimentos funcionais, destacando-se alguns vegetais.

Entre essas alternativas vegetais, os cogumelos emergem como opções nutritivas e versáteis para elaboração de produtos análogos a carne devido a qualidade nutricional e tecnológica. Alguns cogumelos, em particular o shimeji branco (*Pleurotus ostreatus*), destacam-se como fontes ricas em proteínas, vitaminas do complexo B, minerais, fibras e antioxidantes (1). O que torna o uso desses cogumelos na elaboração de produtos ainda mais atraente é sua capacidade de imitar a textura e o sabor da carne em muitas preparações culinárias, tornando-os uma escolha popular para aqueles que buscam uma experiência gastronômica semelhante à da carne, mas com notáveis benefícios nutricionais (2).

Uma das aplicações mais empolgantes do shimeji branco é a produção do fungiburguer, um hambúrguer à base de cogumelos que não apenas atende à demanda

por alimentos mais saudáveis, mas também representa uma opção ambientalmente mais amigável. Smetana et al. (2015) (3) destacam que a substituição parcial da carne por cogumelos em produtos como hambúrgueres pode reduzir significativamente a pegada de carbono associada à produção de carne.

A inserção dos cogumelos in natura na alimentação das pessoas é uma tarefa difícil devido aos seus diferentes costumes e culturas, portanto, faz-se necessário a criação de meios alternativos que possibilitem o consumo dos mesmos, através da adição em produtos presentes no hábito alimentar. O consumo de cogumelos processados na forma de substitutos cárneos tem despertado um grande interesse da população e, principalmente, dos pesquisadores, uma vez que o hambúrguer tem elevada preferência de consumo, principalmente nas redes de fast food, tornando-se uma alternativa viável para a elaboração de um novo produto.

O presente estudo justifica-se por sugerir a elaboração de um produto com fonte alimentar não usual e de uso crescente, que adicionará propriedades funcionais e nutricionais desejáveis a um produto de consumo muito disseminado entre jovens e crianças, que é o hambúrguer. A incorporação dessa fonte ao hábito alimentar de indivíduos saudáveis e/ou portadores de distúrbios nutricionais tem sido preconizada como medida de impacto na melhoria das condições de saúde e de qualidade de vida das populações, a custo baixo e com perspectivas de aplicações de longo prazo, sendo considerada medida terapêutica e/ou preventiva. Nesse contexto, objetivou-se nesta pesquisa o desenvolvimento de hambúrgueres com substituição parcial da carne bovina por cogumelos do tipo Shimeji Branco (*Pleurotus ostreatus*) e avaliar sua qualidade nutricional e características físicas.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada nas dependências do Laboratório de Tecnologia de Carnes e Derivados e do Laboratório de Análise de Alimentos da Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE), Garanhuns/PE. Os cogumelos utilizados no experimento foram adquiridos em uma loja especializada no cultivo de cogumelos em Recife-PE. A matéria-prima (acém bovino), gordura suína e insumos necessários para elaboração das formulações foram adquiridos no mercado local de Garanhuns.

- Elaboração das formulações dos hambúrgueres

Foram desenvolvidas uma formulação de hambúrguer bovino com substituição parcial de 10% de cogumelos shimeji branco (FP) pela carne, uma formulação com substituição de 25% de cogumelos shimeji branco (F1) e uma formulação com substituição de 50% de cogumelos shimeji branco (F2). A elaboração dos hambúrgueres foi realizada obedecendo à linha de processamento conforme o fluxograma apresentado na Figura 1.

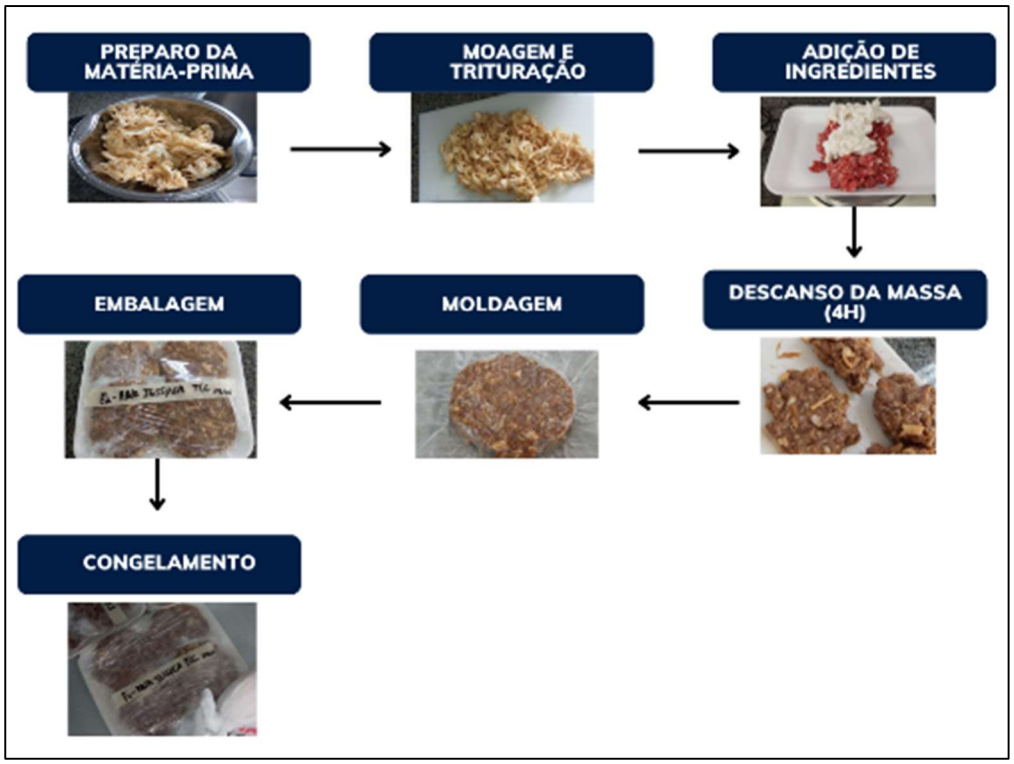


Figura 19 – Fluxograma de elaboração dos hambúrgueres bovino com cogumelos do tipo shimeji branco
Fonte: Autores, 2025

O corte de carne bovina (acém bovino), os cogumelos (shimeji branco) e a gordura suína foram submetidos ao processo de moagem em moedor de carne com disco de 8 mm de diâmetro em temperatura de 7°C, para evitar o aquecimento indesejável no processo; A etapa de mistura da matéria-prima e dos ingredientes foi de forma manual até obtenção de uma mistura homogênea, em seguida a massa passou por uma etapa de descanso para melhor absorção dos condimentos, em temperatura de 5°C, por um período de 12 horas; A massa cárnea obtida foi modelada em forma circular de 8 cm de diâmetro por 1 cm de espessura. Os hambúrgueres foram protegidos em embalagem de polietileno e acondicionados em bandejas de isopor envolvidas em plástico filme de PVC e armazenados em freezer a -18 ºC até o início das análises

- Análises da composição centesimal

Para avaliar as características físico-químicas e a determinada composição centesimal (umidade, cinzas, proteínas, lipídeos e carboidratos) as análises foram realizadas de acordo com a metodologia proposta pelo Instituto Adolf Lutz (IAL, 2008) (6). O teor de umidade foi determinado por secagem em estufa a 105° C e o de cinzas em forno mufla a 550°C. O teor de proteína total foi mensurado, por meio do método de Kjeldahl, utilizando-se o fator de 6,25 para conversão de nitrogênio total em proteína total. A extração de gordura foi realizada pelo método de extração de Soxhlet na presença de hexano, na qual o solvente orgânico (hexano) extrai os lipídeos que são quantificados através da pesagem do resíduo após a eliminação do solvente. Os carboidratos foram calculados por diferença de acordo com a Instrução Normativa n° 75, de 08 de outubro de 2020 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (7). Por fim, também foi feito o cálculo de valor energético kcal g-1, e foi calculado de acordo com a Equação 1:

$$Valor\ energético\ \left(\frac{kcal}{100g}\right) = (Carboidratos\ \times 4) + (Proteínas\ \times 4) + (Lipídios\ \times 9) \quad (1)$$

- Avaliação física

A caracterização física dos hambúrgueres incluiu a análise de várias propriedades que influenciam a qualidade e o desempenho do produto durante a cocção. Foram analisadas as análises de atividade de água (Aw), potencial hidrogeniônico (pH), rendimento na cocção, a capacidade de retenção de água (CRA) e a porcentagem de encolhimento.

O percentual de rendimento de cozimento foi calculado pela diferença entre o peso da amostra crua e depois do cozimento (8). O percentual de encolhimento foi obtido através da medição das dimensões dos hambúrgueres (diâmetro e espessura) antes e após a cocção com o auxílio de um paquímetro eletrônico (8). A Capacidade de Retenção de Água (CRA) foi calculada a partir do rendimento após cocção e do teor de umidade da amostra cozida.

- Análises estatísticas

A partir dos dados das análises físico-químicas e físicas realizadas nas amostras, foi possível calcular as médias e os respectivos desvios-padrão das variáveis analisadas. Esses cálculos forneceram resultados sólidos para entender as variações nos parâmetros analisados e, em seguida, para verificar se havia diferenças estatisticamente significativas entre as amostras, foi conduzida a Análise de Variância (ANOVA). As médias foram comparadas por meio do teste de Tukey, garantindo uma análise detalhada e robusta dos dados ao nível de significância de 5%.

Todo o processo de análise estatística foi conduzido utilizando o software especializado MINITAB 17 STATISTICAL SOFTWARE (9), que é uma ferramenta amplamente reconhecida por sua precisão em análises de variância e testes comparativos. Esse software garantiu resultados mais confiáveis, que foram essenciais para validar cientificamente as conclusões do estudo, o que reforça a viabilidade e qualidade das formulações desenvolvidas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados encontrados nas análises de composição centesimal e valor energético para as formulações estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição centesimal das formulações desenvolvidas

PARÂMETROS	AMOSTRAS		
	FP	F1	F2
Umidade (%)	64,80 ± 1,65^{b}	65,05 ± 1,01^{ab}	67,78 ± 1,93^{a}
Proteínas (%)	18,18 ± 2,30^{a}	17,37 ± 0,84^{a}	17,19 ± 1,01^{a}
Lipídios (%)	11,38 ± 0,02^{ab}	10,17 ± 0,04^{a}	10,02 ± 0,08^{b}
Cinzas (%)	3,46 ± 0,25^{a}	3,65 ± 0,39^{a}	3,37 ± 0,21^{a}

Carboidratos (%)	2,18 ± 0,00[a]	1,76 ± 0,00[a]	1,64 ± 0,00[a]
Valor energético (kcal/100g)	183,86	168,05	165,5

Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas (P<0,05) de acordo com o teste de Tukey. FP- 10% shimeji branco; F1– 25% shimeji branco; e F2– 50% shimeji branco.

Fonte: Autores, 2025

A umidade é um parâmetro importante na análise de produtos cárneos, pois influencia tanto a qualidade sensorial quanto na conservação. Nos resultados obtidos, os teores de umidade variaram entre 64,80% e 70,58%, sendo que o blend com maior proporção de cogumelos, a amostra F2 (Tabela 1), apresentou maior umidade, conforme observado por Silva et al. (2022) (10), que também relataram aumento da umidade em produtos cárneos com a adição de ingredientes vegetais.

A Instrução Normativa nº 20, de 31 de julho de 2000, estabelece os padrões técnicos que regulamentam a identidade e qualidade de produtos cárneos, incluindo o hambúrguer. O teor máximo permitido de umidade para o hambúrguer, de acordo com a IN nº 20/2000, é de 70% (11). A maior umidade observada na amostra F2 (Tabela 1), de 67,78%, pode ter implicações diretas na textura e na aceitação sensorial do produto, mas mesmo assim está na faixa de aceitação de acordo com a Instrução Normativa.

O teor de proteínas nas amostras (Tabela 1), variou de 17,19% a 18,18%, não apresentando diferenças estatísticas significativas entre si. Todas as formulações atenderam o que estabelece o RTIQ, que exige um teor mínimo de 15% de proteínas. Esses resultados indicam que a substituição parcial da carne bovina por cogumelos não resultou em variações importantes no conteúdo proteico total. A presença relativamente alta de proteínas nesses blends é importante pois a proteína é um dos principais nutrientes responsáveis pela valorização nutricional do produto cárneo, impactando diretamente a sua qualidade e aceitação pelo consumidor.

As diferenças nos níveis de proteínas observadas entre as amostras podem ser atribuídas a vários fatores, incluindo a distribuição e concentração dos ingredientes proteicos na formulação e as características específicas dos cogumelos utilizados. Além disso, a inclusão de cogumelos, que possuem um perfil proteico distinto do da carne bovina, pode adicionar diversidade ao perfil de aminoácidos do produto, proporcionando benefícios adicionais em termos de nutrição. Estudos recentes têm mostrado que a integração de ingredientes alternativos, como cogumelos, pode enriquecer o valor nutritivo dos produtos alimentícios, sem comprometer sua qualidade sensorial (12).

Oliveira et al. (2022) (13) analisaram que a inclusão de cogumelos em hambúrgueres resultou em teores de proteínas semelhantes, variando de 17% a 18%, indicando que a adição de cogumelos não compromete a quantidade de proteínas essenciais no produto. Nesse caso, foi possível observar que os resultados são consistentes com a literatura existente, que sugere que a substituição parcial da carne por ingredientes como cogumelos não resulta em perdas significativas de proteína, mas pode oferecer benefícios adicionais, como a redução do impacto ambiental e a diversificação dos nutrientes disponíveis nos produtos alimentícios.

Os teores de lipídios apresentados na Tabela 1 mostram uma variação relativamente pequena entre os tratamentos. O conteúdo de gordura é um parâmetro crítico na formulação de hambúrgueres, influenciando não apenas as propriedades sensoriais, como sabor e suculência, mas também as características nutricionais do produto. O RTIQ estipula um limite máximo de 25% de gordura em hamburgueres (11). Os resultados das amostras (Tabela 1) mostram uma quantidade de lipídios significativamente inferior ao limite, o que reforça essa característica mais saudável das formulações.

Nos valores de cinzas obtidos (Tabela 1), é possível observar uma leve variação entre as amostras, mas sem diferenças estatisticamente significativas, conforme indicado pelo teste de Tukey. Isso sugere que, independentemente da formulação utilizada no blend, o conteúdo mineral se manteve constante. O valor mais elevado de cinzas da amostra F1 (Tabela 1) pode ser atribuído à concentração de cogumelos ou à variação na distribuição de minerais entre os ingredientes utilizados na formulação do blend. Cogumelos, como o shimeji branco, são conhecidos por serem fontes ricas de minerais, o que pode contribuir significativamente para o teor total de cinzas nos hambúrgueres (14, 15).

Rodrigues et al. (2022) (16) analisou as cinzas em diferentes formulações de hambúrgueres com adição de diversos produtos vegetais apresentando variações mínimas entre as diferentes formulações, o que colabora com a ideia de que a adição de ingredientes como cogumelos pode não impactar drasticamente o teor mineral dos alimentos. Esse dado é importante para a indústria alimentícia, que busca desenvolver produtos inovadores sem comprometer o valor nutricional essencial.

Os valores de carboidratos (Tabela 1) obtidos indicam uma redução consistente à medida que a quantidade de cogumelo na formulação dos hambúrgueres aumenta. Essa redução pode ser atribuída à menor presença de carboidratos disponíveis no cogumelo shimeji branco em comparação com a carne bovina, além do fato de que os cogumelos são compostos em grande parte por água e fibras alimentares. Todas as amostras se enquadram dentro do limite máximo de 3% estabelecido pelo RTIQ (11). Isso indica que a adição de cogumelos, que possuem um teor naturalmente baixo de carboidratos, não comprometeu o teor de carboidratos do produto e se manteve dentro dos padrões exigidos pela legislação.

Fernandes et al. (2021) (17), ao investigar a incorporação de cogumelos *Agaricus bisporus* em hambúrgueres, relataram um teor de carboidratos de aproximadamente 2,5%, um valor ligeiramente superior ao encontrado nos blends com shimeji branco. Esta variação pode ser explicada pelas diferenças na composição específica de cada espécie de cogumelo e pela proporção utilizada no processo de formulação.

Silva et al. (2023) (4), fizeram uma análise que ao adicionarem cogumelos do tipo shimeji branco em almôndegas de carne bovina, obtiveram um teor de carboidratos de 1,7%, o que é novamente comparável aos resultados obtidos nos hambúrgueres deste estudo. A consistência desses dados em diferentes tipos de produtos cárneos sugere que o shimeji branco pode ser um ingrediente valioso para a formulação de alimentos que visam reduzir o teor de carboidratos sem comprometer a textura e o sabor.

O valor energético dos três diferentes blends de hambúrgueres bovinos (Tabela 1) mostram que mesmo ocorrendo uma variação entre as amostras, todas apresentam um valor energético relativamente baixo, especialmente se comparado a hambúrgueres tradicionais que não utilizam cogumelos como substitutos parciais. Isso é relevante para consumidores que buscam opções mais saudáveis e com menor teor calórico sem abrir mão das características sensoriais de um hambúrguer convencional.

A Amostra FP apresentou o maior valor energético e reflete uma maior concentração de lipídios e proteínas, o que contribui diretamente para um maior conteúdo calórico. Já as Amostras F1 e F2, com valores energéticos menores, se destacam pela redução nos teores de lipídios, mantendo um bom equilíbrio nutricional. Estudos apontam que blends de carne com substituição parcial por cogumelos podem oferecer algumas vantagens em termos de textura, sabor e retenção de umidade, sem necessariamente afetar significativamente o valor energético final do produto (18).

A atividade de água (Aw) é um parâmetro crítico na avaliação da qualidade e segurança de produtos cárneos, pois influencia na estabilidade, na qualidade

microbiológica e conservação do alimento. Nos resultados (Tabela 2), a amostra F2 apresentou a maior Aw o que está relacionado, geralmente, a uma melhor textura e uma sensação mais suculenta, o que é desejável em hambúrgueres. Entretanto, é importante destacar que um aumento na Aw também pode elevar o risco de crescimento microbiano, exigindo medidas rigorosas de controle e armazenamento.

Tabela 2 – Análises físicas e de rendimento das formulações desenvolvidas

PARÂMETROS	**AMOSTRAS**		
	FP	**F1**	**F2**
Aw	0,97 ± 0,00^{c}	0,97 ± 0,00^{b}	0,97 ± 0,00^{a}
pH	5,89 ± 0,00^{c}	5,99 ± 0,02^{b}	6,05 ± 0,01^{a}
Rendimento na Cocção (%)	66,12 ± 0,11^{a}	65,32 ± 0,24^{b}	62,09 ± 0,10^{c}
Capacidade de Retenção de Água (%)	73,85 ± 0,09^{a}	73,34 ± 0,19^{b}	72,03 ± 0,07^{c}
Porcentagem de Encolhimento (%)	13,33 ± 2,08^{a}	8,66 ± 0,57^{b}	7,33 ± 1,15^{b}

Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas (P<0,05) de acordo com o teste de Tukey. FP- 10% shimeji branco; F1– 25% shimeji branco; e F2– 50% shimeji branco.

Fonte: Autores, 2025

O pH é um parâmetro crucial na análise de qualidade de produtos cárneos, o que influencia diretamente nas características, como a capacidade de retenção de água, a cor, e a vida útil do produto. Nas amostras, os valores de pH (Tabela 2) indicam uma leve variação entre as formulações, com um aumento que é associado à incorporação dos cogumelos. Esses valores se mantêm dentro de uma faixa desejada para produtos cárneos, que idealmente devem estar entre 5,4 e 6,0, pois um pH nessa faixa é crucial para a estabilidade microbiológica do produto.

Os valores mais altos de pH, como o da amostra F2 podem estar associados a uma menor acidez do produto, o que pode influenciar em diversos aspectos, como a cor e a retenção de água. O cogumelo shimeji branco (*Pleurotus ostreatus*) tem um pH natural ligeiramente acima de 6,0, o que pode ter contribuído para elevar o pH final das formulações desenvolvidas, principalmente na amostra F2 que apresentou um pH mais elevado.

Os valores de rendimento na cocção (Tabela 2) indicaram variações entre as diferentes amostras. O rendimento na cocção é um parâmetro importante que está relacionado à capacidade de retenção de água e gordura dos produtos cárneos durante o processo de aquecimento. Carvalho et al. (2020) (19) observaram rendimentos na cocção de hambúrgueres com substituição parcial de carne por proteínas vegetais entre 63,5% e 67,0%, valores próximos aos observados na Tabela 2. Isso sugere que a adição de ingredientes alternativos ou a substituição parcial de carne não afeta significativamente o rendimento na cocção, desde que a formulação seja bem balanceada.

Em outro estudo, Liu (2021) (20) avaliaram hambúrgueres de carne bovina com inclusão de fibras alimentares e obtiveram rendimentos de aproximadamente 64,5%, também comparáveis aos resultados obtidos aqui. A adição de fibras e outros componentes não apenas aumenta o teor de fibras e nutrientes, mas também melhora a capacidade de retenção de água, o que contribui para o rendimento final na cocção.

Os resultados de Capacidade de Retenção de Água (Tabela 2) também mostraram diferenças significativas entre os tratamentos, com os valores mais altos

indicando maior eficiência na retenção de água durante o processamento. Quando comparamos esses resultados com outros estudos, podemos ver que eles estão em conformidade com pesquisas parecidas. Santos et al. (2021) (21) investigaram a CRA em hambúrgueres com substituição parcial de carne por proteínas vegetais e obtiveram valores entre 71% e 74%, mostrando uma correlação com os resultados aqui apresentados. A inclusão de ingredientes que ajudam na retenção de água, como proteínas alternativas e fibras, pode contribuir para esses altos valores de CRA, o que pode ser desejável.

Os resultados de porcentagem de encolhimento (Tabela 2) observados mostraram diferenças muito significativas entre os tratamentos. O encolhimento em produtos cárneos ocorre principalmente devido à perda de água e gordura durante o processo de cocção, o que pode afetar tanto a aparência quanto a qualidade do produto. Produtos com menor encolhimento tendem a ser mais suculentos e atrativos, além de reterem melhor suas características iniciais de tamanho e forma.

Liu (2021) (20) observaram encolhimento em hambúrgueres de carne bovina variando entre 12% e 15%, dependendo da quantidade de gordura e aditivos presentes na formulação. Esse resultado é semelhante ao maior valor observado (F1), sugerindo que produtos com maior teor de gordura tendem a encolher mais devido à maior perda de líquidos e gordura durante a cocção.

Estudos de Ferreira et al. (2020) (22), que investigaram blends de carne com substituição parcial por cogumelos, os valores de encolhimento foram significativamente menores, variando entre 6% e 9%, comparáveis aos valores mais baixos encontrados das amostras F1 e F2 (Tabela 2). Os resultados apresentados na Tabela 2 indicam que o encolhimento é diretamente influenciado pela composição do produto, e os tratamentos com menor encolhimento apresentam uma vantagem em relação à preservação da suculência e forma do hambúrguer após o preparo.

CONCLUSÕES

As análises realizadas nas amostras de hambúrgueres com substituição parcial de carne bovina por cogumelo shimeji branco apresentaram diferenças significativas em parâmetros como pH, umidade, teor de proteínas, e valor energético. Esses dados são fundamentais para entender o impacto da inclusão de cogumelos nas características nutricionais e tecnológicas do produto.

Quando comparamos os resultados com os limites estabelecidos pelo Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade para hambúrguer, foi observado que os valores de umidade, proteínas e teor de cinzas das amostras se mantiveram dentro dos padrões exigidos pela legislação, garantindo a conformidade das amostras com as normas atuais. Além disso, a redução do valor energético nas amostras com mais cogumelos torna esses produtos atrativos para consumidores que buscam opções mais saudáveis.

Os hambúrgueres apresentaram bons resultados em termos de rendimento na cocção e menor porcentagem de encolhimento, o que indica um produto tecnologicamente viável para a indústria. Esses fatores apontam para a viabilidade de aplicação comercial desses hambúrgueres, oferecendo uma alternativa sustentável e atrativa do ponto de vista nutricional e tecnológico. Portanto, a substituição parcial de carne bovina por cogumelos shimeji branco mostra-se viável e com boas perspectivas para atender às tendências de mercado por produtos mais funcionais e nutritivos.

Como sugestão para pesquisas futuras, recomendamos a elaboração de hambúrgueres com novas variações de cogumelos e aplicação de avaliação sensorial

e teste de intenção de compra para verificar a aceitabilidade dos produtos desenvolvidos.

REFERÊNCIAS

(1) KALAC, P. Chemical composition and nutritional value of European species of wild growing mushrooms: A review. **Food Chemistry**, v. 113, n. 1, p. 9-16, 2009. DOI: /10.1016/j.foodchem.2008.07.077.

(2) SILVA, R. P.; SOUZA, L. T.; OLIVEIRA, F. R. Efeito da inclusão de cogumelos Pleurotus ostreatus em almôndegas de carne bovina: teor de carboidratos e impacto nutricional. **Revista de Alimentos Funcionais**, v. 42, n. 1, p. 10-18, 2023.

(3) SMETANA, S. et al.. Environmental aspects of food waste-based biorefineries as an alternative for sustainable food production. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, p. 846-853, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.04.039.

(4) INSTITUTO ADOLPH LUTZ - IAL. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4. ed. **São Paulo: IAL**, 2008. Disponível em: http://www.ial.sp.gov.br.

(5) BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Instrução Normativa nº 75, de 08 de outubro de 2020. Estabelece os requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional nos alimentos embalados. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 09 de outubro de 2020.

(6) LIBÓRIO, P. T. H. R. *et al*. Caracterização físico-química e sensorial de hambúrguer elaborado com carne de galinha poedeira. **Revista Científica de Produção Animal**, v. 20, n. 2, p. 53-58, mai. 2018. DOI: 10.5935/2176-4158/rcpa.v20n2p53-58

(7) MINITAB. MINITAB 17 Statistical Software. User guide. **Minitab**, Inc., 2014. Disponível em: https://www.minitab.com. Acesso em: 12 set. 2024.

(8) SILVA, C. M. et al. Efeito da adição de cogumelos em produtos cárneos. **Journal of Food Science**, v. 87, n. 4, p. 2143-2151, 2022. DOI: 10.1111/1750-3841.16568

(9) BRASIL. Ministério da Agricultura e Abastecimento. Portaria SDA nº 724, de 23 de dezembro de 2022. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Hambúrguer. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 23 de dezembro de 2022.

(10) SILVA, M. R.; OLIVEIRA, L. F.; SANTOS, D. R. Impact of alternative ingredients in meat products. **Journal of Food Science**, v. 42, n. 5, p. 98-110, 2021. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.112160

(11) OLIVEIRA, F. R.; SOUSA, A. B.; SILVA, M. C. Impacto da adição de fibras alimentares em hambúrgueres de carne bovina. **Brazilian Journal of Food Science**, v. 27, n. 3, p. 245-258, 2020. DOI: 10.1590/1981-6723.7915

(12) PARK, S. Mineral content in mushroom-enriched meat products. **Food Science and Technology International**, v. 27, n. 1, p. 43-51, 2021. DOI: 10.1177/1082013221997300.

(13) LEE, J.; KIM, H.; PARK, S.; CHOI, M. Análise nutricional e mineral de cogumelos e seus efeitos em produtos alimentícios. **Mycological Progress**, v. 22, n. 3, p. 573-584, 2023. DOI: 10.1007/s11557-023-01967-2

(14) RODRIGUES, T. et al. Ash content in plant-based meat products: A review. **Food Research International**, v. 149, p. 110703, 2022. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.112160

(15) FERNANDES, L. G.; PEREIRA, J. A.; SOUZA, M. P. Carbohydrate content in beef and mushroom-based burgers. **International Journal of Food Science**, v. 37, p. 123-130, 2021. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.112160.

(16) FERREIRA, A. M.; SILVA, J. A.; SANTOS, F. G. Blends de carne com substituição parcial por cogumelos: vantagens em textura, sabor e retenção de umidade. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 65, n. 2, p. 144-153, 2022.DOI: 10.4025/revtecnol.v31i0.56411

(17) CARVALHO, M. L.; OLIVEIRA, G. P.; LIMA, L. S. Influência da inclusão de cogumelos em hambúrgueres de carne bovina na capacidade de retenção de água e rendimento na cocção. **Revista Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 34, n. 2, p. 123-135, 2020. DOI: 10.4025/revtecnol.v31i0.56411

(18) LIU, H. Análise sensorial e nutricional de hambúrgueres à base de plantas: tendências atuais e direções futuras. **Journal of Food Science**, v. 86, n. 3, p. 917-926, 2021. DOI: 10.1111/1750-3841.15965:

(19) SANTOS, J. F.; LIMA, R. M.; ALMEIDA, P. A. Avaliação da capacidade de retenção de água em hambúrgueres com substituição de carne por proteínas vegetais. **Journal of Meat Science**, v. 59, n. 4, p. 567-578, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v11i11.33717

(20) FERREIRA, F. A.; SILVA, A. C.; MARTINS, V. F. Efeito da substituição parcial de carne por cogumelos na qualidade de hambúrgueres. **Food Science and Technology**, v. 43, n. 1, p. 50-58, 2020. DOI: 10.4025/revtecnol.v31i0.56411

CINÉTICA DE SECAGEM E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO *Plectranthus amboinicus* (Lour.)

DRYING KINETICS AND CHEMICAL COMPOSITION OF *Plectranthus amboinicus* (Lour.)

DOI: 10.65747/conali2025v3c04

Inacia dos Santos Moreira[1]; Sonara de França Sousa[2]; Francinalva Cordeiro de Sousa[3]; Yvana Maria Gomes dos Santos [4]; Joselito Sousa Moraes[5]; Ana Paula Trindade[6]

[1]Pesquisadora do Depto de Engenharia Agrícola – CTRN – UFCG; E-mail:inaciamoreira@ymail.com

[2]Pesquisadora do Depto de Laboratório Multiusuários – DLM – UFAPE

[3]Docente EBTT do curso técnico em alimentos – IFPB.

[4]Pesquisadora do Depto de Engenharia Agrícola – CTRN – UFCG

[5]Pesquisador do Depto de Engenharia Agrícola – CTRN – UFCG

[6]Docente do Depto de Engenharia de alimentos – CTRN – UFCG.

Resumo: Este trabalho teve como objetivo avaliar a cinética de secagem e a composição químicas dos extratos de *Plectranthus amboinicus.* O processo de secagem foi conduzido em estufa com circulação de ar forçada, nas temperaturas de 50, 60 e 70 ºC. Os dados experimentais foram ajustados aos modelos matemáticos de Henderson & Pabis, Logaritmo, Page e Thompson, sendo avaliados pelo coeficiente de determinação (R^2) e pelo desvio quadrático médio (DQM). Em seguida, os pós obtidos foram submetidos à extração hidroalcoólica e caracterizados quanto ao teor de sólidos totais, taninos condensados, carotenoides e clorofilas (a, b e total). Os resultados evidenciaram que todos os modelos apresentaram ajustes satisfatórios ($R^2 > 0,99$), destacando-se o modelo de Page, que apresentou maior precisão e menor DQM, sendo o mais adequado para a descrição da cinética de secagem. A elevação da temperatura reduziu o tempo de processo, variando de aproximadamente 2000 minutos (50 ºC) para 400 minutos (70 ºC). Quanto à composição química, observa-se que temperaturas mais baixas favoreceram a preservação de taninos, enquanto temperaturas mais elevadas aumentaram a extração de carotenoides e clorofila a. A temperatura de 60 ºC, favoreceu os maiores teores de clorofila b e clorofila total. Conclui-se que a escolha da temperatura de secagem deve ser escolhida com base nos compostos de interesse, sendo observado que a *Plectranthus amboinicus* pode ser utilizada para aplicações nas indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética.

Palavras-chave: estabilidade de pigmentos; extrato hidroalcoólico; hortelã da folha grossa; modelagem matemática.

Abstract: This study aimed to evaluate the drying kinetics and the chemical composition of *Plectranthus amboinicus* extracts. The drying process was carried out in a forced-air circulation oven at temperatures of 50, 60, and 70 °C. The experimental data were fitted to the mathematical models of Henderson & Pabis, Logarithmic, Page, and Thompson, and evaluated based on the coefficient of determination (R^2) and the root mean square deviation (RMSD). Subsequently, the powders obtained were subjected to hydroalcoholic extraction and characterized regarding total solids content, condensed tannins, carotenoids, and chlorophylls (a, b, and total). The results showed that all models presented satisfactory fits ($R^2 > 0.99$), with the Page model standing out for its higher accuracy and lower RMSD, making it the most suitable for describing the drying kinetics. Increasing the temperature reduced the drying time, ranging from approximately 2000 minutes (50 °C) to 400 minutes (70 °C). Regarding chemical composition, lower temperatures favored the preservation of tannins, whereas higher temperatures enhanced the extraction of carotenoids and chlorophyll a. The temperature of 60 °C promoted higher levels of chlorophyll b and total chlorophyll. It is concluded that the drying temperature should be selected based on the target compounds, and that *Plectranthus amboinicus* shows potential for applications in the food, pharmaceutical, and cosmetic industries.

Keywords: pigment stability; hydroalcoholic extract; indian borage; mathematical modeling.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por ingredientes naturais com propriedades funcionais tem impulsionado o interesse pelas Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANC). Entre estas espécies, destaca-se o *Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng, pertencente à família Lamiaceae, uma erva aromática e medicinal de uso tradicional em diferentes culturas. Nativa da Ásia, essa planta expandiu-se para diversos continentes e vem sendo utilizada há séculos tanto na medicina popular quanto na culinária. No Brasil, é empregada no tratamento de úlceras e leishmaniose; na Indochina, no tratamento de asma, bronquite e picadas de insetos; na Índia, em queixas do sistema gênito-urinário e cólicas; e no Reino Unido, o suco das folhas é utilizado para cicatrização de feridas, enquanto a infusão é indicada contra influenza. Além disso, em países como Indonésia e Filipinas, a planta é utilizada como tempero e aromatizante de pratos, sendo também aplicada em cuidados pessoais, como perfumes naturais para cabelo e roupas. No Vietnã, integra preparações tradicionais, como sopas azedas e guisados, e na Índia é consumida crua, acompanhada de pão e manteiga (1, 2).

O gênero *Plectranthus* compreende cerca de 300 espécies de ervas anuais, perenes ou subarbustos, frequentemente suculentos, com reconhecida importância econômica, medicinal e cultural. Dentre essas espécies, *P. amboinicus* se destaca por suas propriedades aromáticas e pelo uso de seus óleos essenciais na medicina tradicional. Além das aplicações terapêuticas, essa espécie é amplamente utilizada em rituais da cultura popular brasileira, como no candomblé, em banhos de descarrego e defumadores, sendo associada à purificação espiritual (3, 2).

No Brasil, *P. amboinicus* é popularmente conhecida como hortelã-graúda, hortelã-da-folha-grossa ou malvariço, sendo cultivada em quintais urbanos, áreas rurais e por agricultores familiares em sistemas consorciados. Sua ampla disseminação deve-se, em parte, ao valor medicinal, culinário e cultural. Os compostos timol e carvacrol,

presentes em seu óleo essencial, apresentam efeitos antibacterianos relevantes, contribuindo para a melhora de patologias do trato respiratório (4, 5, 6, 7).

Um dos principais desafios relacionados ao aproveitamento de ingredientes vegetais consiste na escolha de métodos de secagem que preservem suas propriedades nutricionais e bioativas. A secagem é considerada uma operação fundamental para a indústria alimentícia e farmacêutica, uma vez que reduz a atividade de água, limita o crescimento microbiano, diminui a ação enzimática e aumenta a estabilidade do material.

A secagem por convecção com ar quente tornou-se popular por permitir um tempo de processamento relativamente curto e aquecimento uniforme. Nesse processo, a remoção de água ocorre por meio da transferência simultânea de calor e massa, garantindo eficiência no tratamento de produtos agrícolas e alimentícios (8). Essa técnica tem sido amplamente aplicada à conservação de hortaliças e subprodutos agroindustriais, apresentando vantagens como redução de volume, prolongamento da vida útil e viabilidade econômica (9). Estudos de cinética de secagem, associados à modelagem matemática, têm contribuído para o entendimento do comportamento de diferentes matrizes vegetais durante o processo de desidratação (10).

A secagem é uma das operações mais utilizadas na indústria de alimentos e na produção de medicamentos a partir de vegetais, sendo essencial para reduzir a taxa de deterioração por meio da diminuição do teor de água, o que inibe a ação enzimática e prolonga a conservação do material vegetal. Além disso, a remoção da água contribui para a concentração dos princípios ativos em relação à massa seca; entretanto, o processo pode alterar a composição quantitativa de compostos bioativos, fundamentais para determinados efeitos farmacológicos. Nesse sentido, a temperatura de secagem constitui um parâmetro crítico para otimizar o rendimento de substâncias ativas (11).

Após a etapa de secagem, a aplicação de métodos de extração torna-se essencial para a obtenção de compostos bioativos de interesse. Nesse contexto, a maceração dinâmica tem se destacado como uma técnica simples e eficiente, favorecendo a extração de metabólitos secundários. A obtenção do extrato líquido bruto a partir de folhas previamente desidratadas é fundamental para a preservação de compostos bioativos, garantindo maior concentração, estabilidade e aplicabilidade em estudos farmacológicos, alimentícios e de cosmético.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo modelar matematicamente a cinética de secagem das folhas de *Plectranthus amboinicus* (Lour.) e determinar a influência da secagem na composição química dessa espécie.

MATERIAL E MÉTODOS

Material vegetal

As folhas de *Plectranthus amboinicus* (Lour.), popularmente conhecida como hortelã da folha grossa, foram coletadas em uma área experimental na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), no início da manhã, por meio de colheita manual. O material vegetal foi armazenado em recipientes térmicos e transportado para o

Laboratório de Química de Biomassa (LBQ). No laboratório, as folhas foram selecionadas, descartando-se aquelas com danos ou sinais de deterioração, e posteriormente, cortadas manualmente com auxílio de faca de aço inoxidável, com comprimento de 30 cm.

Secagem convectiva

A secagem em camada fina das folhas foi realizada em estufa com circulação forçada de ar (Marconi, modelo MA 035/3IN250), ajustada para temperaturas de 50, 60 e 70 ºC, escolhidas com base nas faixas usualmente utilizadas para produtos agrícolas.

Os experimentos foram realizados em triplicata. O teor de água foi determinado pelo método gravimétrico, com pesagens em balança analítica até atingirem o teor de água de equilíbrio. O teor de água inicial foi obtido pelo método padrão de estufa, a 105 ºC por 24 h. Para a descrição da cinética de secagem, os teores de água foram determinados em intervalos de tempo regulares, até o equilíbrio.

Obtenção das curvas de secagem

As curvas de secagem foram obtidas pela conversão dos dados referentes à perda de água no parâmetro adimensional - razão de teor de água (X^*), para as diferentes condições de secagem, mediante a seguinte equação 1:

$$X^* = \frac{X_{bs} - X_e}{X_{bs\ inicial} - X_e} \quad (1)$$

Em que: X^* – razão de teor de água (adimensional); X_e– teor de água de equilíbrio em base seca; X_{bs}– teor de água em base seca;$X_{bs\ inicial}$ – teor de água inicial em base seca.

Modelos matemáticos de secagem

Os valores experimentais para a razão de umidade ao longo do tempo, determinados para cada temperatura do ar de secagem, foram preditos por quatro modelos empíricos.

O ajuste das equações empíricas aos dados experimentais foi realizado por meio do programa computacional programa computacional Statistica versão 7.0® utilizando-se análise de regressão não-linear, pelo método Quase-Newton. O critério usado para determinação do melhor ajuste de todos os modelos matemáticos aos dados experimentais foi o coeficiente de determinação (R^2) e o Erro Quadrático Médio (DMQ).

Tabela 1. Modelos de regressão não linear utilizados para descrição da cinética de secagem.

Modelo	Equação	
Henderson & Pabis	RU = a.exp(-k.t)	(2)
Logaritmo	RU=a.exp(-k.t) + c	(3)
Page	RU = exp(-k.t^n)	(4)

Thompson	$RU = exp\left(\frac{-a - \sqrt{a^2 + 4bt}}{2b}\right)$	(5)

t - tempo de secagem (min); k - constantes de secagem; a, c, n - coeficientes dos modelos.
Fonte: Autores, 2025

Obtenção dos pós

Após a secagem, as amostras foram trituradas em processador doméstico por 5 minutos, até a obtenção de pó homogêneo, o qual foi utilizado nos ensaios subsequentes.

Maceração dinâmica

Os pós foram submetidos à maceração dinâmica em álcool etílico a 70%., na proporção 1:10 (pó:solvente, m/v). O material foi mantido sob agitação constante em agitador mecânico (Quimis, modelo Q250M-2), a 200 rpm e 30 ºC, por 1 h.

Obtenção do extrato líquidos bruto

As soluções extrativas foram filtradas a vácuo em papel de filtro e concentradas em rotaevaporador (IKA, modelo RV 05 BS28), à 50 ºC, até redução a 1/3 do volume inicial. O extrato bruto foi acondicionado em frasco âmbar e armazenado a 4ºC, em BOD (Marconi, modelo MA 415).

Caracterização da solução extrativa

Teor de sólidos totais

O teor de sólidos totais (g/g) foi determinado por secagem em estufa (102 ± 1 °C), até peso constante. O cálculo foi realizado conforme a Equação 6:

$$Cs = \frac{Ms}{Mt} \quad (6)$$

Em que: Cs – concentração de sólidos; Ms – massa seca; Mt - massa total adicionada

Determinação de taninos condensados

O teor de taninos condensados foi determinado pelo método colorimétrico descrito por Morrison et al. (12), utilizando solução de ácido clorídrico a 8% e uma solução de vanilina a 1%. A curva padrão foi construída com catequina no intervalo de 2,5 a 200 mg/mL. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro UV-VIS (Agilent 8453), a 500 nm. O cálculo realizado pela Equação 7.

$$Tc = \frac{X * V * 100}{m} \quad (7)$$

Em que: Tc – Taninos condensados (mg catequina/100g amostra); X - concentração obtida pela curva padrão, (mg/mL); V - volume da amostra (mL); m - peso da amostra (g).

Carotenoides e clorofilas totais

Os teores de carotenoides e clorofilas totais foram determinados de acordo com Lichtenthaler (13). Aproximadamente 0,2 g da amostra foi macerada com 0,2 g de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) e 5 mL de acetona 80%, em ambiente escuro. Em seguida, as amostras foram centrifugadas a 10 °C, 3.000 rpm por 10 min, e os sobrenadantes foram lidos em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 470, 646 e 663 nm. As concentrações foram calculadas pelas equações 8 e 9:

$$\text{Carotenoides} = ((1000\ \text{Abs. } 470 - 1{,}82\ Ca - 85{,}02\ Cb) / 198) \times 100 / 1000 \quad (8)$$

$$\text{Clorofila total} = ((17{,}3\ \text{Abs. } 646 + 7{,}18\ \text{Abs. } 663) / \text{massa (g)}) \times 100/1000 \quad (9)$$

Onde:

$Ca = ((12{,}21\ \text{Abs. } 663 - 2{,}81\ \text{Abs. } 646) / \text{massa (g)}) \times 100 / 1000$;

$Cb = ((20{,}13\ \text{Abs. } 646 - 5{,}03\ \text{Abs. } 663) / \text{massa (g)}) \times 100 / 1000$;

Abs. = absorbância

Análise estatística

Os efeitos dos tratamentos foram avaliados através da análise de variância (ANOVA), detectando significância do teste F, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, empregando-se o Programa Computacional SISVAR (14).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cinética de secagem

Na Tabela 2 encontram-se os parâmetros obtidos a partir do ajuste dos modelos de Henderson & Pabis, Logaritmo, Page e Thompson aos dados experimentais das cinéticas de secagem de folhas de *Plectranthus amboinicus* (Lour.), nas temperaturas de 50, 60 e 70°C. Também são apresentados o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio quadrático médio (DQM) referentes a cada ajuste.

Tabela 2. Parâmetros de ajuste dos modelos de Henderson & Pabis, Logaritmo, Page e Thompson aos dados experimentais da secagem de folhas de *Plectranthus amboinicus* (Lour.) nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.

Modelo	T (ºC)	Parâmetros						
		A	b	c	k	n	R^2	DQM

Henderson & Pabis	50	0,950753	-	-	0,003032	-	0,9989	0,0157
	60	1,011961	-	-	0,005659	-	0,9975	0,0226
	70	1,041663	-	-	0,010960	-	0,9985	0,0186
Logaritmo	50	0,944548	-	0,010701	0,003138	-	0,9990	0,0137
	60	0,994691	-	0,030926	0,006218	-	0,9982	0,0194
	70	1,056231	-	-0,023928	0,010273	-	0,9991	0,0144
Page	50	-	-	-	0,006988	0,867435	0,9999	0,0046
	60	-	-	-	0,006168	0,980399	0,9975	0,0228
	70	-	-	-	0,005475	1,140684	0,9995	0,0105
Thompson	50	-1253,29	1,901643	-	-	-	0,9989	0,0157
	60	-714,575	2,024287	-	-	-	0,9975	0,0226
	70	-379,519	2,084022	-	-	-	0,9984	0,0188

Fonte: Autores, 2025

Para o modelo de Henderson e Pabis, observa-se comportamento definido para o parâmetro a, que representa a constante da taxa de secagem. Os resultados indicam que o aumento da temperatura provoca a elevação da taxa de secagem. Além disso, os valores do parâmetro k também aumentaram com a elevação da temperatura.

No modelo de Logaritmo, o parâmetro a apresentou comportamento crescente em função do aumento da temperatura. Para o parâmetro c, não foi observado um parâmetro definido com o aumento da temperatura. Já o parâmetro k apresentou um padrão definido, aumentando à medida que a temperatura se elevou.

Na equação de Page, observa-se comportamento diferente dos demais modelos, os valores do parâmetro k, diminuíram com o aumento da temperatura, indicando tendencia inversa.

No modelo de Thompson, verifica-se que o aumento da temperatura promoveu redução dos valores do parâmetro a, enquanto o parâmetro b aumentou.

Todos os modelos apresentaram elevados valores do coeficiente de determinação (R^2) superiores a 0,99, indicando bom ajuste aos dados experimentais. Contudo, conforme destacado por Madamba et al. (15), o uso do R^2 isoladamente não é suficiente para seleção do modelo mais adequado, sendo necessário considerar também o desvio quadrático médio (DQM).

Entre os modelos utilizados, o de Page ajustou-se melhor aos dados experimentais, nas diferentes temperaturas de secagem, apresentando os maiores valores de R^2 (0,9975 a 0,9999) e os menores valores de DQM. Esses resultados confirmam a melhor adequação do modelo de Page às curvas experimentais (Figura 1C), em comparação com os demais modelos. Considerando este mesmo critério, O modelo Logaritmo (Figura 1B) também apresentou bom ajuste, especialmente a 50 °C, apresentando baixos valores de DQM (0,0137), o que demonstra que pode ser considerado uma alternativa eficiente para descrever o processo. Por outro lado, os modelos de Henderson & Pabis (Figura 1A) e Thompson (Figura 1D), embora tenham apresentado bons valores de R^2, exibiram maiores discrepâncias em determinadas regiões das curvas e valores de DQM relativamente superiores (até 0,0226), o que evidencia ajuste ligeiramente inferior em relação ao modelo de Page.

Na literatura, diversos estudos corroboram com a eficácia do modelo de Page na descrição da cinética de secagem de diferentes materiais vegetais. Alcântara et al (16)

relataram que o modelo de Page apresentou o melhor ajuste para a cinética de secagem de *Pereskia* sp. Patel e Panwar (17) relataram que o modelo de Page apresentou o melhor ajuste para a cinética de secagem de *Cucumis callosus*, exibindo altos valores de R^2. Assim, o modelo de Page, entre outros, mostra-se mais adequado para descrever o comportamento de secagem de diferentes hortaliças.

A Figura 1 apresenta as curvas de secagem de folhas de *Plectranthus amboinicus* (Lour.) ajustada aos modelos de Henderson & Pabis, Logaritmo, Page e Thompson, nas temperaturas de 50, 60 e 70ºC.

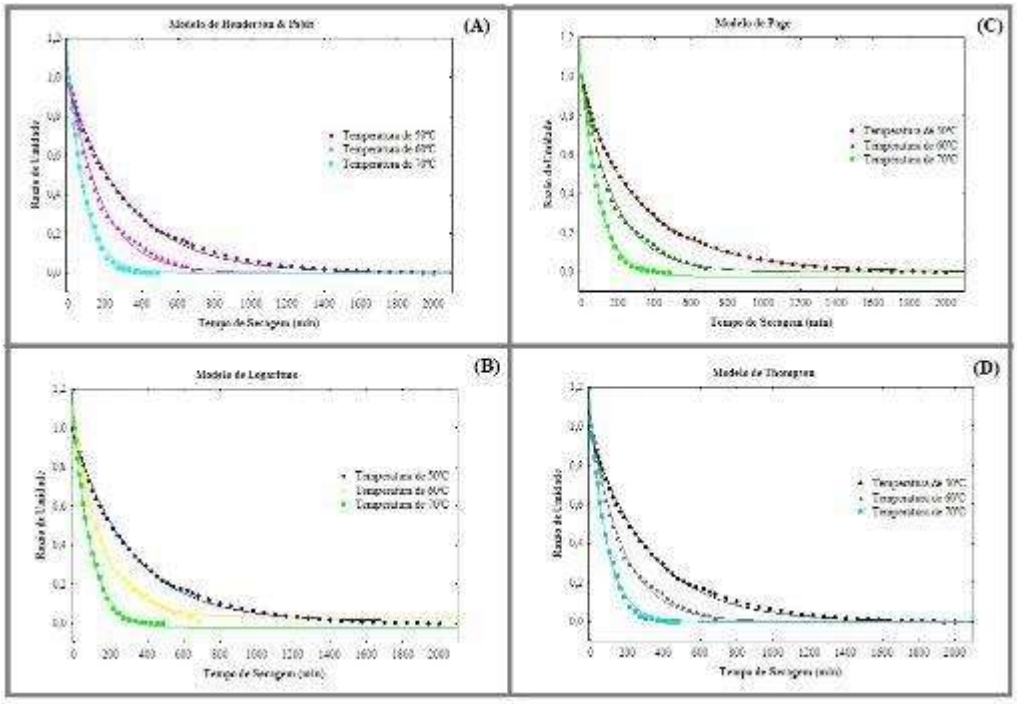


Figura 1. Curvas de secagem dos dados experimentais e ajustadas pelos modelos matemáticos: (A) Henderson e Pabis, (B) Logaritimo; (C) Page; e (D) Thompsom, nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.

Fonte: Autores, 2025

A secagem das folhas de *Plectranthus amboinicus* apresentou forte influência da temperatura, evidenciada pela redução progressiva do tempo necessário para atingir o equilíbrio higroscópico. Observa-se que a 50 ºC, o processo demandou aproximadamente 2000 minutos, enquanto a 70 ºC reduziu-se para cerca de 400 minutos. Esse comportamento é amplamente relatado na literatura, visto que temperaturas mais elevadas aumentam a pressão de vapor do ar de secagem e o produto, o que facilita e acelera a eliminação de água (18).

O ajuste dos dados experimentais aos modelos matemáticos de Henderson & Pabis, Logaritmo, Page e Thompson revelou que todos apresentaram elevados coeficientes de determinação ($R^2 > 0,99$), indicando boa representatividade das curvas experimentais.

O modelo de Page demonstrou melhor desempenho, com maior proximidade dos dados observados, resultados semelhantes aos relatados por diversos autores com

diferentes matrizes vegetais, como *Pereskia sp.* (16) e *Cucumis callosus* (17). O modelo Logaritmo também apresentou ajuste satisfatório, especialmente a 50 ºC, sugerindo boa aplicabilidade. Por outro lado, os modelos de Henderson & Pabis e Thompson, embora adequados, mostraram maior dispersão em alguns pontos da curva. Esses resultados demonstram a aplicabilidade do modelo de Page como referência para a descrição da cinética de secagem de hortaliças e plantas medicinais.

Caracterização do extrato

A Tabela 3 apresenta os teores de sólidos totais, taninos, carotenoides, clorofilas (a, b e total) em extratos das folhas de *Plectranthus amboinicus (Lour.)* submetida às temperaturas de secagem de 50 °C, 60 °C e 70 °C.

Tabela 3. Avaliação química dos extratos de *Plectranthus amboinicus (Lour.)*.

Tratamentos	Teor de sólidos (%)	Taninos (mg catequina/ 100g amostra)	Carotenoides (mg/g)	Clorofila a (mg/g)	Clorofila b (mg/g)	Clorofila total (mg/g)
50ºC	0,0826 a	54,7619 a	3,8298 b	0,0346 b	0,0237 c	4,9907 c
60ºC	0,0489 b	28,4762 b	3,9280 b	0,0426 b	0,0806 a	11,1258 a
70ºC	0,0825 a	6,5714 c	5,5557 a	0,0552 a	0,0359 b	7,7789 b
Média	0,0553	23,4071	3,5080	0,0347	0,0372	6,3076
CV (%)	0,47	2,08	9,48	13,66	10,84	11,80

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.
Fonte: Autores, 2025.

Na Tabela 3 verifica-se que a composição química dos extratos foi significativamente afetada pelas condições de secagem. O teor de sólidos totais manteve-se estável entre 50 ºC e 70 ºC, indicando que essas temperaturas não promoveram degradação expressiva de sólidos extraíveis.

Os taninos condensados apresentaram diferença significativa entre todos os tratamentos, apresentando comportamento inversamente proporcional à temperatura, com maior teor a 50 ºC e redução acentuada a 70 ºC. Esse resultado sugere que temperaturas mais elevadas podem acelerar a degradação ou volatilização desses compostos, fato relatado por Dias, Souza e Alsina (19) em estudo com *Mentha x vilosa*. Assim, a manutenção de temperaturas moderadas pode ser estratégica para preservar compostos fenólicos de interesse farmacológico e de alimentos.

Os carotenoides apresentaram maior concentração a 70 ºC, enquanto valores próximos foram observados a 50 ºC e 60 ºC. Esse resultado pode estar associado à maior eficiência da extração em temperaturas mais altas, que favorecem a liberação desses pigmentos da matriz vegetal. Contudo, estudos com pimentas do gênero *Capsicum* indicam que temperaturas superiores a 60 ºC podem provocar degradação oxidativa dos carotenoides (20), sugerindo que o comportamento é espécie-dependente.

Com relação as clorofilas, verifica-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos a 50 ºC e 60 ºC. Verificando maior retenção de clorofila a em 70 ºC, enquanto a clorofila b e a clorofila total apresentaram teores mais elevados a 60 ºC.

Esse comportamento pode estar relacionado ao equilíbrio entre degradação enzimática (favorecida por temperaturas mais baixas e tempos mais longos de secagem) e degradação térmica (associada a altas temperaturas). De acordo com Schoefs (21) e Sinnecker (22), a clorofila é altamente sensível ao calor, à luz e ao oxigênio, podendo ser degradada tanto em condições brandas (pela ação de enzimas como clorofilases) quanto em condições severas de aquecimento.

Contudo, os resultados demonstram que a escolha da temperatura de secagem influencia de maneira diferenciada os compostos bioativos. Enquanto temperaturas mais baixas (50 ºC) favorecem a preservação de fenólicos, temperaturas mais altas (70 ºC) podem favorecer a liberação de pigmentos lipossolúveis, como os carotenoides.

CONCLUSÕES

A secagem das folhas de *Plectranthus amboinicus* mostrou-se fortemente dependente da temperatura, sendo o modelo de Page o mais adequado para descrever o processo. Verificou-se que diferentes condições de secagem influenciam a preservação e a extração de compostos bioativos, com maior retenção de taninos a 50 ºC, maior teor de carotenoides e clorofila a a 70 ºC, e melhor desempenho para clorofila b e total a 60 ºC. Esses resultados evidenciam que a escolha da temperatura deve ser orientada pelo composto de interesse, reforçando o potencial da hortelã da folha grossa para aplicações nas indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética.

REFERÊNCIAS

1. RAHAYU, M. *Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng. In: PADUA, L. S.; BUNYAPRAPHATSARA, N.; LEMMENS, R. H. M. J. (ed.). *Plant Resources of South-East Asia*. v. 1, n. 12, p. 407-408, 1999.

2. DUARTE, J. P.; BARBOZA, M. L. B. M.; ALBUQUERQUE, H. N. Etnoconhecimento da hortelã da folha grossa (*Plectranthus amboinicus*) no interior paraibano. *Open Minds International Journal*, São Paulo, v. 2, n. 3, p. 56-68, 2022.

3. ARUMUGAM, G.; SWAMY, M. K.; SINNIAH, U. R. *Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng: Botanical, phytochemical, pharmacological and nutritional significance. *Molecules*, v. 21, n. 369, 2016.

4. OLIVEIRA, R. A. G.; LIMA, E. O.; SOUZA, E. L.; VIEIRA, W. L.; FREIRE, K. R. L.; TRAJANO, V. N.; LIMA, I. O.; SILVA-FILHO, R. N. Interference of *Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng essential oil on the anti-*Candida* activity of some clinically used antifungals. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v. 17, p. 186-190, 2007.

5. LARANJEIRA, D. B. S.; SANTOS, D. B.; SANTOS, D.; MACHADO, M.; LARANJEIRA, L. Plantas medicinais em quintais produtivos no semiárido baiano. *Cadernos Macambira*, v. 1, n. 2, p. 123-127, 2016.

6. LUKHOBA, C. W.; et al. *Plectranthus*: A review of ethnobotanical uses. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 103, p. 1-24, 2006.

7. MOSCA, V. P.; LOIOLA, M. I. B. Uso popular de plantas medicinais no Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. *Revista Caatinga*, v. 22, n. 4, p. 225-234, 2009.

8. CASTRO, A. M.; MAYORGA, E. Y.; MORENO, F. L. Mathematical modelling of convective drying of fruits: A review. *Journal of Food Engineering*, v. 223, p. 152-167, 2018.

9. LEITE, D. D. F.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; LIMA, L. S. L. Mathematical drying kinetics modeling of jackfruit seeds (*Artocarpus heterophyllus* Lam.). *Revista Ciência Agronômica*, v. 50, p. 361-369, 2019.

10. DIÓGENES, A. M. G.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; FERREIRA, J. P. L.; SILVA, W. P.; GOMES, J. P.; SANTOS, F. S.; CASTRO, D. S.; OLIVEIRA, M. N.; SANTOS, D. C. et al. Mathematical models to describe the foam mat drying process of cumbeba pulp (*Tacinga inamoena*) and product quality. *Foods*, v. 11, p. 1751, 2022.

11. FIALHO, G. J. D.; APOLINÁRI, A. C.; OLIVEIRA, A. R.; FEITOSA, V. A.; PACHÚ, C. O. Efeito da secagem da *Menta x piperita* L. (hortelã-pimenta) sobre o rendimento de flavonoides e polifenóis totais. *Revista de Biologia e Farmácia*, v. 6, n. 2, p. 60-73, 2011.

12. MORRISON, I. M.; ASIEDU, E. A.; STUCHBURY, T.; POWELL, A. A. Determination of lignin and tannin contents of Cowpea seed coats. **Annals of Botany,** v.76, n.3, p.287-290, 1995.

13. LICHTENTHALER, H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in Enzymology, v.148, p.350-382, 1987.

14. FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45, 2000. São Carlos. Programas e resumos. São Carlos, SP: UFSCar, 2000. p. 255-258.

15. MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. The thin-layer drying characteristics of garlic slices. *Journal of Food Engineering*, v. 29, p. 75-97, 1996.

16. ALCANTARA, C. M.; MOREIRA, I. S.; CAVALCANTI, M. T.; LIMA, R. P.; MOURA, H. V.; NEVES, R. S.; CASSIMIRO, C. A. L.; MARTINS, J. J. A.; BATISTA, F. R. C.; PEREIRA, E. M. Mathematical modeling of drying kinetics and technological and chemical properties of *Pereskia* sp. leaf powders. *Processes*, v. 12, p. 2077, 2024.

17. PATEL, M. R.; PANWAR, N. L. Drying kinetics, quality assessment and socio-environmental evaluation of solar dried underutilized arid vegetable *Cucumis callosus*. *Energy Nexus*, v. 7, p. 100128, 2022.

18. Kumar, C.; Karim, M.A.; Joardder, M.U.H. Intermittent drying of food products: A critical review. *J. Food Eng v. 121*, p.48–57, 2014.

19. DIAS, R. A. L.; SOUZA, P. S.; ALSINA, O. L. S. Efeito da temperatura de secagem sobre o rendimento na extração de taninos totais e óleos essenciais da hortelã (Mentha x vilosa Hudson). Revista Brasileira de Farmácia, v. 93, n. 4, p. 431-438, 2012.

20. MORESCO, K. S. Potencial antioxidante, efeito do processo de secagem e extração de compostos bioativos de pimentas capsicum. 2013. 92f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Porto Alegre, 2013.

21. SCHOEFS, B. Chlorophyll and carotenoid analysis in food products. Properties of the pigments and methods of analysis. Trends in Food Science & Technology, v.l3, n.11, p.361-371, 2002.

22. SINNECKER, P. Degradação da clorofila durante a maturação e secagem de sementes de soja. 2002. 102p. Tese de Doutorado. Faculdade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

COMPOSIÇÃO E QUALIDADE: UMA ABORDAGEM FÍSICO-QUÍMICA PARA DIFERENTES GENÓTIPOS DE AMENDOIM

COMPOSITION AND QUALITY: A PHYSICOCHEMICAL APPROACH TO DIFFERENT PEANUT GENOTYPES

DOI: 10.65747/conali2025v3c05

Raiane da Silva Pereira[1]; Ryan Alves Rodrigues da Silva[2]; Julia Morais Pessoa[3] Thaisa Abrantes Souza Gusmão[4] Everaldo Paulo de Medeiros[5]

[1]Estudante do Curso de Engenharia de Alimentos.-CTRN- UFCG; E-mail: raiane.pereira@estudante.ufcg.edu.br

[2]Estudante do Curso de Engenharia de Alimentos.-CTRN- UFCG; E-mail: ryanalvese@gmail.com

[3]Estudante do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos.-CTRN- UFCG; E-mail: juliaamorais20@gmail.com

[4]Docente/pesquisadora do Depto. de Engenharia de Alimentos– CTRN – UFCG; E-mail: ta_brantes@hotmail.com

[5]Pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária– Embrapa Algodão.; E-mail: everaldo.medeiros@embrapa.br

Resumo

O amendoim (*Arachis hypogaea L*.) é uma das principais oleaginosas cultivadas no Brasil e no mundo, apresentando grande importância econômica, nutricional e tecnológica, além de ser uma alternativa viável para agricultores familiares. A qualidade físico-química do amendoim é influenciada por fatores genéticos, ambientais e de manejo pós-colheita, sendo as variáveis de teor de água, acidez, cinzas, açúcares totais e redutores, proteínas e lipídios essenciais para avaliação de sua estabilidade e valor nutricional. O presente trabalho teve como objetivo analisar a composição físico-química de amendoins, sendo uma delas oriunda do Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa e quatro adquiridas em diferentes comércios locais, com o intuito de comparar a qualidade e a composição entre as cultivares, foram realizadas determinações de teor de óleo, açúcares redutores e totais, acidez, cinzas, teor de água e proteínas . O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três repetições, e os dados analisados por ANOVA e teste de Tukey (5%). Os resultados indicaram diferenças significativas entre os genótipos, a BRS 425 OL apresentou maior teor de óleo (48,37%) e menor teor de água (4,66%), enquanto o genótipo GR destacou alto teor proteico (42,07%). Conclui-se que a escolha do genótipo deve considerar múltiplos parâmetros para atender demandas industriais e de consumo, dependendo de sua finalidade.

Palavras–chave: matéria prima; composição; proteínas; dulçor.

Abstract

Peanuts (Arachis hypogaea L.) are one of the main oilseeds cultivated in Brazil and worldwide. They are of great economic, nutritional, and technological importance, and also a viable alternative for family farmers. The physicochemical quality of peanuts is influenced by genetic, environmental, and postharvest management factors. The variables moisture content, acidity, ash, total and reducing sugars, proteins, and lipids are essential for assessing their stability and nutritional value. This study aimed to analyze the physicochemical composition of peanuts, one of which originated from Embrapa's Active Germplasm Bank and four acquired from different local stores. To compare the quality and composition of the cultivars, we determined oil content, total and reducing sugars, acidity, ash, water content, and proteins. The experimental design was completely randomized, with three replicates, and the data were analyzed by ANOVA and Tukey's test (5%). The results indicated significant differences between the genotypes, with BRS 425 OL having a higher oil content (48.37%) and lower water content (4.66%), while the GR genotype had a high protein content (42.07%). It is concluded that the choice of genotype must consider multiple parameters to meet industrial and consumer demands, depending on its purpose.

Keywords: raw material; composition; proteins; sweetness.

INTRODUÇÃO

O amendoim (*Arachis hypogaea L.*) é uma das principais oleaginosas cultivadas no Brasil e no mundo, apresentando grande importância econômica, nutricional e tecnológica. Seus grãos são reconhecidos pelo elevado conteúdo de lipídios, principalmente insaturados, proteínas de boa qualidade, carboidratos e compostos bioativos, que conferem ao alimento valor agregado tanto para consumo humano quanto para aplicações industriais (1).

A qualidade físico-química do amendoim é influenciada por fatores genéticos, ambientais e de manejo pós-colheita, sendo os parâmetros de teor de água, acidez, cinzas, açúcares totais e redutores, proteínas e lipídios essenciais para avaliação de sua estabilidade e valor nutricional (2). Estudos recentes mostram que há variações expressivas entre diferentes cultivares, especialmente quanto ao teor de óleo e proteína, o que impacta tanto o consumo direto quanto a adequação industrial do produto (1).

O cultivo do amendoim no nordeste brasileiro apresenta grande potencial socioeconômico, especialmente em regiões semiáridas, onde a cultura se adapta bem a solos de baixa fertilidade e condições climáticas adversas. Segundo estudos, o amendoim é uma alternativa viável para agricultores familiares, pois possui ciclo curto, baixo custo de produção e capacidade de fixação biológica de nitrogênio, contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Além disso, a cultura tem se destacado como fonte de renda complementar, sendo utilizado tanto para consumo direto quanto para a produção de óleo vegetal, com crescente demanda nos mercados interno e externo (3).

No Brasil, trabalhos de campo têm apontado que a qualidade do amendoim disponível ao consumidor pode ser bastante heterogênea. Análises realizadas em diferentes municípios mostraram diferenças significativas em parâmetros como teor de água, cinzas, acidez e proteínas entre lotes comercializados, reforçando a importância de monitorar continuamente a qualidade físico-química (4), (5). Nesse contexto, cultivares provenientes de programas de melhoramento, como os desenvolvidos pela Embrapa, representam uma alternativa estratégica para a oferta de grãos com maior qualidade e estabilidade (6).

A relevância científica e tecnológica deste estudo reside na possibilidade de identificar diferenças nutricionais e funcionais entre a heterogeneidade espacial de coleta, subsidiando programas de melhoramento, estratégias de processamento e fornecendo informações relevantes para a indústria e para o consumidor final. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo analisar a composição físico-química de amendoins, sendo uma delas oriunda do Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa e quatro adquiridas em diferentes comércios locais. Foram realizadas determinações de açúcares totais e redutores, acidez titulável, teor de cinzas, teor de água, teor de óleo e teor de proteína, com o intuito de comparar a qualidade e a composição entre as cultivares.

MATERIAL E MÉTODOS

Delineamento experimental

O experimento foi conduzido utilizando um Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), com cinco tratamentos correspondentes a diferentes genótipos de amendoim. As amostras foram codificadas de acordo com a sua localidade de coleta, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Codificação das amostras de amendoim.

Codificação	Cultivar	Local de coleta
EM	BRS 425 OL	BAG*
FP1	N/I	Feira local
CO	N/I	Supermercado
GR	N/I	A granel
FP2	N/I	Feira local

* Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Algodão

Fonte: Autores, 2025

Análise estatística

Para cada tratamento foram realizadas três repetições. Os resultados obtidos foram analisados por meio da Análise de Variância (ANOVA). Posteriormente, a fim de verificar diferenças significativas entre as médias das variáveis analisadas, foi aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram conduzidas utilizando o software Sisvar.

Local de estudo

O estudo foi realizado nas dependências do Laboratório de Química Avançada da Embrapa Algodão e nos laboratórios da Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos - UFCG, localizados na cidade de Campina Grande, Paraíba.

Preparo das amostras de amendoim

As amostras foram selecionadas com base em critérios visuais de integridade, coloração uniforme e ausência de contaminações visíveis, de forma a garantir maior confiabilidade nas análises. Após a obtenção, todas as amostras foram submetidas a higienização e, em seguida, os grãos foram triturados em moinho analítico até a obtenção de uma farinha fina e homogênea (Figura 1). A análise do teor de água foi realizada em amostras úmidas, enquanto as demais análises foram conduzidas com amostras de amendoim em base seca. Para isto, as farinhas foram submetidas a aquecimento em estufa a 105 °C por 24 horas. Ao fim da secagem as amostras foram acondicionadas em embalagens plásticas transparentes e armazenadas em local seco e protegido da luz, para posterior caracterização.

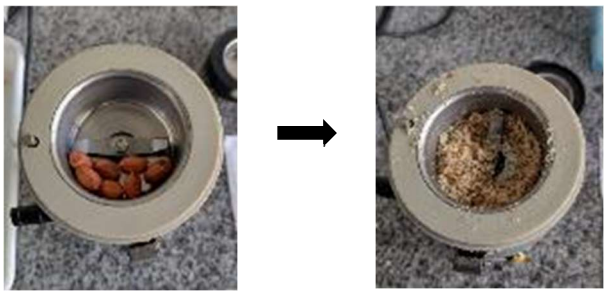


Figura 1 – Trituração da amostra.

Fonte: Autores, 2025

Caracterização das sementes

Teor de água

A quantificação de teor de água foi realizada de acordo com a metodologia proposta pelo Instituto Adolfo Lutz (2008) (7). As amostras de amendoim foram

submetidas a aquecimento em estufa á 105ºC por um período de 24 horas. A quantificação foi realizada de acordo com a equação 1.

$$Teor\ de\ água\ (g/100g) = \frac{N}{P} \times 100, \text{ onde:} \quad \text{(Eq1.)}$$

N = massa da amostra - massa da amostra seca (água evaporada a 105ºC)

P = massa da amostra

Acidez total titulável

A determinação de acidez total titulável, foi conduzida de acordo com IAL (2008) (7). Para isto, a amostra foi diluída em água e titulada com uma solução de hidróxido de sódio a 0,1M, utilizando fenolftaleína como indicador. A determinação de acidez foi quantificada de acordo com a equação 2.

$$Acidez\ (\frac{g}{100g}\ de\ ácido\ oleico) = \frac{Vx\ f\ x\ 28{,}2}{P}, \text{ onde:} \quad \text{(Eq. 2)}$$

V= Volume gasto na titulação

F= fator de correção da solução de hidróxido de sódio

P= massa da amostra

Cinzas

As cinzas foram quantificadas de acordo com o método do Instituto Adolfo Lutz (2008) (7). As amostras de amendoim foram incineradas em mufla por um período de 3 horas a 600ºC, volatizando toda a matéria orgânica neste processo. Sua quantificação se procede de acordo com a equação 3.

$$Cinzas\ (g/100g) = \frac{N}{P} \times 100, \text{ onde:} \quad \text{(Eq. 3)}$$

N = massa das cinzas

P = massa da amostra

Proteínas

Foi utilizada a metodologia proposta por Lowry modificada por Christopher M. Pomory (2008) (8). Para isto, foi utilizado um reagente formador de complexo numa proporção de 100:1:1, formado pela solução A (2% p/v de Na_2CO_3), solução B (1% p/v de $CuSO_4 \cdot 5H_2O$) e Solução C (2% de tartarato de sódio e potássio) respectivamente. Para a formação da cor, 0,5mL da solução com proteína (amostra e solução padrão) foi homogeneizada em um tubo de ensaio com 5 mL do formador de complexo e repousado

por 10 minutos. Passado este tempo, foi adicionado 0,5mL do reagente Folin-Ciocalteu (1N), homogeneizado e repousado em temperatura ambiente por 120 minutos.

Ao fim da reação, as soluções foram lidas suas absorbâncias em espectrofotômetro em comprimento de onda em 660 nm.

Inicialmente, foi obtida a curva de calibração (Figura 2), utilizando Albumina de soro bovino (BSA) como padrão, para isto, foi variada uma concentração de 0 a 600 mg/L de BSA em solução de hidróxido de sódio a 1 N.

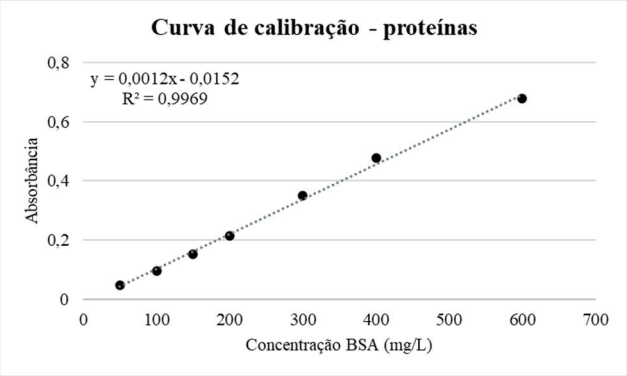


Figura 2 – Curva de calibração para quantificação de proteínas.

Fonte: Autores, 2025

As amostras de amendoim foram diluídas em uma solução hidróxido de sódio a 1N (mesma usada para a construção da curva). As soluções foram filtradas e prosseguidas com a análise conforme mostrado acima.

Para quantificação de proteínas, foi utilizada a equação da reta (Equação 4) da curva de calibração, inserindo a absorbância das soluções para obter a concentração de proteínas em mg/L.

$$Proteínas\ \left(\frac{mg}{L}\right) = \frac{(Absorbância + 0{,}0152)}{0{,}0012} \qquad \text{(Eq. 4)}$$

Para quantificação da amostra, o valor foi multiplicado pelo fator de diluição e convertido para g/100g.

Teor de óleo

A quantificação do teor de óleo foi conduzida baseando-se nos procedimentos normativos da American Oil Chemists Society (AOCS, 2000) (9). Para isto, foi utilizado

um sistema do tipo Randall, conforme apresentado na Figura 3. Como solvente de extração foi utilizado o Hexano a 99%.

Figura 3 – Sistema de Randall para extração de óleo.

Fonte: Autores, 2025

As amostras foram submetidas a gotejamento constante por um período de 4 horas. Posteriormente, o solvente presente no balão foi evaporado e submetido a aquecimento em estufa a 105ºC por 24 horas para evaporação do solvente residual. A quantificação de óleo presente no amendoim procedeu de acordo com a equação 5.

$$Teor\ de\ óleo\ \left(\frac{g}{100g}\right) = \frac{O}{P} \times 100 \text{ , onde:} \qquad \text{(Eq. 5)}$$

O = massa do óleo do balão

P = massa da amostra

Açúcares redutores e totais

As análises de açúcares redutores e totais foram realizadas de acordo com a metodologia proposta por Miller (1959) (10). Para isto, foi utilizado o reagente DNS (1 % de ácido 3,5-dinitrosalicílico, 1,6% de hidróxido de sódio e 30% de tartarato de sódio e potássio).

Para obtenção da cor na reação, foi homogeneizado 1mL da solução com açúcares (amostra e solução padrão) com 1 mL da solução de DNS. Posteriormente foi submetido a aquecimento em banho termostatizado em ebulição por um período de 5 minutos. Passado este tempo, as soluções foram resfriadas em banho de gelo para interrupção da reação e acrescentadas de 8mL de água deionizada. As soluções foram lidas suas absorbâncias em espectrofotômetro em comprimento de onda em 540 nm.

A quantificação de açúcares procedeu-se com a construção de uma curva de calibração de glicose, variando sua concentração de 0 a 0,1g/100g, conforme Figura 3.

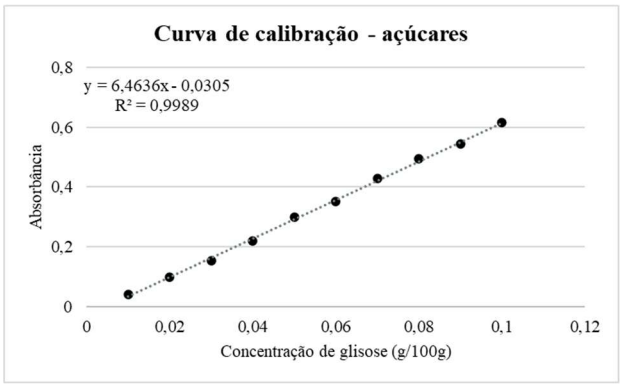


Figura 4 – Curva de calibração para quantificação de açúcares.

Fonte: Autores, 2025

As amostras foram diluídas em água deionizada, posteriormente filtradas. Para a quantificação de açúcares totais, foi necessário hidrolisar as soluções. A hidrólise foi realizada de acordo com a metodologia proposta por MALDONADE *et al.* (11). Em 2 mL da solução de amendoim, foi adicionada 2 mL de uma solução de HCl a 2 mol/L e submetida a aquecimento em banho termostatizado em ebulição por um período de 10 minutos. Passado este tempo, foi submetida a banho de gelo até à temperatura ambiente. Foi adicionada 2 mL de solução de NaOH a 2 mol/L e seguidas de filtração.

A reação para açúcares redutores foi realizada com a solução filtrada, já para açúcares totais com a solução hidrolisada.

Para quantificação de ambos os açúcares, foi utilizada a equação da reta (Equação 6) da curva de calibração, inserindo a absorbância das soluções para obter a concentração de açúcares (redutores e totais) em g/100g.

$$Açúcares\ (totais\ ou\ redutores\ \left(\frac{g}{100g}\right) = \frac{(Absorbância + 0{,}0305)}{6{,}4636} \qquad \text{(Eq. 6)}$$

Para quantificação da amostra, o resultado foi multiplicado pelo fator de diluição.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para uma compreensão mais acurada dos efeitos dos tratamentos sobre a composição das sementes, as Tabelas 1 e 2 apresentam as médias acompanhadas dos respectivos erros-padrão das variáveis físico-químicas avaliadas.

Tabela 1 – Médias e erros padrão das variáveis: cinzas, teor de água, teor de óleo e proteínas.

Amostra	Cinzas (g/100g)	Teor de água (g/100g)	Teor de óleo (g/100g)	Proteínas (g/100g)
EM	2,32± 0,14^{a}	4,66±0,074^{e}	48,37±1,43^{a}	33,37±1,05^{c}
FP1	1,96±0,14^{a}	6,37±0,074^{a}	41,20±1,43^{b}	24,31±1,05^{d}
CO	2,13±0,14^{a}	5,56±0,074^{c}	45,83±1,43^{ab}	36,27±1,05^{bc}

GR	2,53±0,14[a]	5,97±0,074[b]	46,18±1,43[ab]	42,07±1,05[a]
FP2	2,29±0,14[a]	5,06±0,074[d]	46,54±1,43[ab]	39,89±1,05[ab]

Fonte: Autores, 2025

Entre as variáveis avaliadas, o teor de óleo apresentou variação expressiva, de 41,20 a 48,37%, sendo eles os tratamentos FP1 e EM respectivamente, variando estatisticamente entre si, segundo a análise estatística aplicada. O óleo de amendoim é um líquido viscoso, com coloração amarelada variando sua intensidade de acordo com a amostra, conforme apresentado na Figura 5.

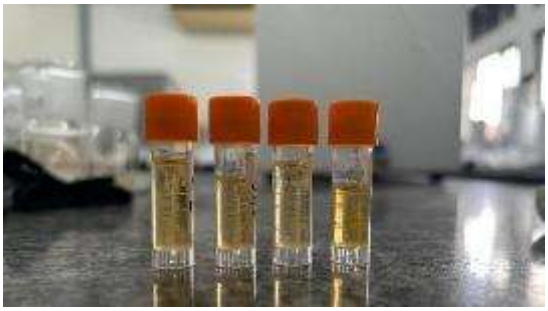


Figura 5 – Óleo de amendoim.

Fonte: Autores, 2025

O alto teor lipídico presente na amostra EM quando associado ao baixo teor de água (4,66%) observado no mesmo tratamento, representa vantagens tecnológicas e de conservação. Esta composição reduz a atividade de água, minimiza riscos microbiológicos e favorece a estabilidade oxidativa, prolongando a vida útil do produto. A escolha de cultivares com alto teor de óleo, como a BRS 425 OL, é estratégica não apenas para a produção de óleo comestível, mas também para a formulação de produtos que necessitam de maior aporte lipídico, como cremes e pastas. Segundo a Embrapa, cultivares como a BRS 421 OL apresentam alto teor de ácido oleico, e são indicados para alimentos industrializados à base de amendoim, devido a sua estabilidade oxidativa e maior vida de prateleira (12).

No que se refere ao conteúdo mineral, representado pelo teor de cinzas, não houve diferença significativa entre os tratamentos ($p<0,05$), variando de 1,96% a 2,53%. Esses valores se apresentam similares a faixa relatada pela Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (13), no qual apresenta variação de 1,90% a 2,22%. A ausência de variação significativa indica que, independentemente do cultivar, o aporte mineral é semelhante, sendo a adubação e as características do solo os fatores determinantes para esse parâmetro.

As cinzas presentes no amendoim refletem a quantidade total de minerais, como cálcio, potássio, magnésio e fósforo, importantes para o valor nutricional e funcionalidade tecnológica (14). Mesmo sem apresentar diferenças estatísticas entre os tratamentos, a coloração dos das cinzas obtidas variaram de esbranquiçados para cinza (Figura 6), sugerindo variação no perfil mineral.

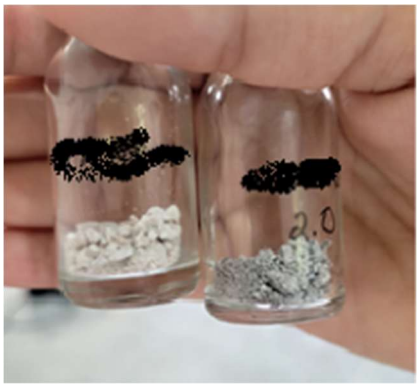


Figura 6 – Cinzas de amendoim.

Fonte: Autores, 2025

O teor de água destacou-se pela variação significativa encontrada ($p< 0,0001$), com valores de 4,66% (tratamento EM) a 6,38% (tratamento FP1). Valores inferiores a 10% são recomendados para minimizar riscos de crescimento fúngico e contaminação por aflatoxinas (15). Quando combinada a altos teores de açúcares redutores, a água presente pode intensificar reações de Maillard durante a torrefação, afetando cor, aroma e textura.

Tabela 2 – Médias e erros padrão das variáveis: acidez total titulável, açúcares redutores e açúcares totais.

Amostra	ATT* (g/100g de ácido oleico)	Açúcares redutores (g/100g)	Açúcares Totais (g/100g)
EM	1,80±0,13^{c}	0,69±0,018^{b}	5,27±0,024^{c}
FP1	1,47±0,13^{c}	0,48±0,018^{c}	5,51±0,024^{c}
CO	4,80±0,13^{a}	0,67±0,018^{b}	5,15±0,024^{c}
GR	2,82±0,13^{b}	0,89±0,018^{a}	6,99±0,024^{b}
FP2	2,55±0,13^{b}	0,91±0,018^{a}	8,85±0,024^{a}

*acidez total titulável

Fonte: Autores, 2025

Nesse sentido da cultivar BRS 425 OL, da Embrapa, com menor teor de água e teor moderado de açúcares redutores (0,69%), tende a apresentar coloração e sabor equilibrados após o processamento térmico, além de maior crocância e menor enrugamento da superfície.

Os açúcares redutores variaram de 0,48% (tratamento FP1) a 0,91% (tratamento FP2), com diferença altamente significativa ($p<0,0001$). Açúcares redutores, como glicose e frutose, participam intensamente da reação de Maillard durante o processamento térmico, influenciando a cor e o aroma (16). Quando associados a altos teores proteicos, como no tratamento GR (42,07% de proteína), esses açúcares potencializam a formação de compostos aromáticos e pigmentos, intensificando o sabor e a coloração costa (17). Entretanto, níveis muito altos podem intensificar o escurecimento excessivo, comprometendo a aparência e aumentando a formação de compostos indesejáveis (18).

A fração proteica apresentou diferença significativa entre os genótipos (p< 0,0001), com variação de 24,31% (tratamento FP1) a 42,07% (tratamento GR). Esses valores estão acima da faixa observada para o amendoim, que varia entre 20% a 30% de proteínas nas sementes (19). A alta concentração proteica aumenta o valor nutricional e é particularmente relevante para o desenvolvimento de produtos destinados a dietas vegetarianas e veganas, barras proteicas em suplementos alimentares.

Diferenças genéticas e a capacidade de fixação de nitrogênio pela planta podem explicar a variação entre as amostras, como demonstrado por Borges et al, que identificaram acessos de amendoim com desempenho superior em nodulação e acúmulo de nitrogênio, mesmo sob efeito de rizóbios nativos (20). O tratamento GR, portanto, se destaca como potencial fonte proteica para agregação de valor em diferentes aplicações industriais.

Em relação aos açúcares totais, observou-se, que os resultados indicaram diferença significativa (p < 0,0001), com menores teores em CO, EM e FP1 (5,15% a 5,51%) e maiores em GR e FP2 (6,99% e 8,86%). Da composição dos açúcares totais, predomina a sacarose, e a rafinose (21). A relação entre açúcares e acidez é um dos principais índices para avaliar o sabor, quando a presença de açúcares acompanha baixa acidez se caracteriza um alimento com alta doçura (22).

Com isto, genótipos com alto teor de açúcares totais e acidez moderada podem apresentar perfil sensorial mais complexo e agradável, enquanto combinações de baixo dulçor e alta acidez podem ser mais adequadas para produtos salgados ou para processamento industrial, onde o dulçor não é desejado.

A acidez titulável variou substancialmente (p <0,0001), de 1,47% (tratamento FP1) a 4,80% (tratamento CO). Esta variável é amplamente reconhecida como um indicador de frescor, estabilidade e segurança microbiológica em alimentos, influenciando diretamente atributos sensoriais como sabor e aroma (23). Quando associada a altos teores de água, a acidez pode retardar o crescimento de microrganismos, mas também intensificar reações químicas que alteram sabor e aroma.

Níveis mais baixos de acidez tendem a ser mais agradáveis ao paladar em produtos doces, enquanto valores moderados podem conferir frescor e complexidade a produtos salgados (24). No contexto industrial, ATT elevada pode indicar necessidade de ajustes de formulação para equilibrar o sabor. Além disso, maior acidez pode atuar como barreira contra o crescimento microbiano, aumentando a vida útil do produto (25). Resultados semelhantes foram reportados por Braga *et al,* (26) para amendoim torrado com casca, que apresentou acidez de 4,65%, valor considerado dentro dos padrões de consumo e indicativo de bom estado de conservação.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstram que os tratamentos avaliados apresentam diferenças significativas na composição físico-química, influenciando diretamente a qualidade, a estabilidade e o potencial de aplicação industrial do amendoim. O tratamento EM destacou-se pelo alto teor de óleo e baixa umidade, características desejáveis para conservação e processamento, enquanto o tratamento GR apresentou elevado teor proteico, sendo promissor para produtos com apelo nutricional. A análise integrada dos parâmetros reforça que a seleção de cultivares deve considerar não apenas atributos individuais, mas também suas interações, de modo a atender

demandas específicas da indústria e do consumidor. Os dados levantados fornecem subsídios para o desenvolvimento de estratégias de manejo, processamento e armazenamento que preservem a qualidade e ampliem o valor agregado do produto.

AGRADECIMENTOS

A UFCG, CNPq e Embrapa pelo apoio financeiro (Proc. SEG 20.22.01.004.00.00).

REFERÊNCIAS

1. EL IDRISSI, Z. L. et al. Peanut (*Arachis hypogaea* L.) flour and oilcake flour: exploring the influence of roasting and varietal differences on proximal composition, elemental profiling, antimicrobial and antioxidant properties. *Food Chemistry: X*, v. 24, p. 101791, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101791.

2. LIU, X. et al. Recent advances in the mechanisms of quality degradation and control technologies for peanut butter: a literature review. *Foods*, v. 14, n. 1, p. 105, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods14010105>.

3. MELO FILHO, P. A.; SANTOS, R. C. dos. *A cultura do amendoim no Nordeste: situação atual e perspectivas*. Universidade Federal Rural de Pernambuco; Embrapa Algodão, 2020.

4. PAULA, T. C. et al. Qualidade do amendoim comercializado no município de Jaru-RO. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 2963–2975, 2022. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv8n1-196>.

5. FREITAS, J. R. de. *Aspectos físico-químicos do amendoim comercializado em João Pessoa na Paraíba*. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/34388>. Acesso em: 23 ago. 2025.

6. EMBRAPA. Cultivares de amendoim. Brasília, DF: Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/cultivar/amendoim>. Acesso em: 23 ago. 2025.

7. INSTITUTO ADOLFO LUTZ. *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

8. POMORY, Christopher M. Colorimetric determination of protein concentration using the Lowry method. Analytical Biochemistry, v. 1, p. 49-55, 2008.

9. AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY (AOCS). *Official methods and recommended practices of the AOCS*. Method Am 2-93. 5th ed. Champaign: AOCS Press, 2000.

10. MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Analytical Chemistry, Washington, US, v. 31, n. 3, p. 426- 428, Mar. 1959.

11. MALDONADE, I. R.; CARVALHO, P. G. B.; FERREIRA, N. A. Protocolo para determinação de açúcares totais em hortaliças pelo método de DNS. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2013. 4 p. (Comunicado Técnico, 85).

12. EMBRAPA. Amendoim – BRS 421 OL. Brasília, DF: Embrapa, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/cultivar/amendoim>. Acesso em: 29 ago. 2025.

13. Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA). Universidade de São Paulo (USP). Food Research Center (FoRC). Versão 7.2. São Paulo, 2023. (Acesso em: 30/08/2025). Disponível em: http://www.fcf.usp.br/tbca.

14. EMBRAPA. Além do NPK: estudos revelam eficiência de nutrientes esquecidos em fertilizantes. Brasília, DF: Embrapa, 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2192735/alem-do-npk-estudos-revelam-eficiencia-de-nutrientes-esquecidos-em-fertilizantes>. Acesso em: 29 ago. 2025

15. EMBRAPA. Segurança e qualidade na produção primária do amendoim. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. (Circular Técnica, 87).

16. UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ (UFC). *Reação de Maillard nos alimentos: uma breve introdução*. 2019. Disponível em: <http://www.petquimica.ufc.br/reacao-de-maillard-nos-alimentos-uma-breve-introducao/>. Acesso em: 29 ago. 2025.

17. COSTA, I. H. L.; MELO, C. W. B. Reação de Maillard em alimentos: um estudo de revisão. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO CIENTÍFICO –CONAPESC,2017. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/editora/anais/conapesc/2017/TRABALHO_EV070_MD1_SA20_ID340_12032017211336.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2025.

18. LIMA, E. et al. A formação natural de acrilamida em alimentos e seus riscos para a saúde. *Revista Presença*, Centro Universitário Celso Lisboa, 2020. Disponível em: <https://revistapresenca.celsolisboa.edu.br/index.php/numerohum/article/download/376/215>. Acesso em: 29 ago. 2025.

19. EMBRAPA. Amendoim – Portal Embrapa Agroenergia. Brasília, DF: Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/biodiesel/materias-primas/amendoim>. Acesso em: 29 ago. 2025.

20. BORGES, W. L.; SILVA, C. E. R.; XAVIER, G. R.; RUMJANEK, N. G. Nodulação e fixação biológica de nitrogênio de acessos de amendoim com estirpes nativas de rizóbios. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/621873/nodulacao-e-fixacao-biologica-de-nitrogenio-de-acessos-de-amendoim-com-estirpes-nativas-de-rizobios>. Acesso em: 29 ago. 2025.

21. ZHAO, Tong et al. Research Advances in the High-Value Utilization of Peanut Meal Resources and Its Hydrolysates: a review. **Molecules**, (S.L.), v. 28, n. 19, p. 6862, 28 set. 2023. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/molecules28196862.

22. AGUIAR, Liliane de Freitas et al. Qualidade pós-colheita de clones de cajueiro anão CCP 76 tratados com bioestimulantes. **Caderno Pedagógico**, (S.L.), v. 22,

n. 9, p. 17903, 7 jul. 2025. Brazilian Journals. http://dx.doi.org/10.54033/cadpedv22n9-070

23. REVISTA ENCONTRO. *Influência da acidez na qualidade e conservação de alimentos*. 2024. Disponível em: <https://www.revistaencontro.com.br/canal/saude/2024/03/influencia-da-acidez-na-qualidade-e-conservacao-de-alimentos.html>. Acesso em: 29 ago. 2025.

24. SABER TECNOLOGIAS. Acidez titulável: entenda sua importância e cálculo. 2025. Disponível em: <https://sabertecnologias.com.br/artigo/acidez-titul-vel/>. Acesso em: 29 ago. 2025.

25. METTLER TOLEDO. *Medição de acidez em alimentos e bebidas*. 2023. Disponível em: <https://www.mt.com/br/pt/home/applications/laboratory/food-and-beverages/acidity-measurement.html>. Acesso em: 22 ago. 2025.

26. BRAGA, D. O.; SANTOS, J. S.; SOUSA, D. A.; TORRES, J. R. O. Caracterização química do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) torrado com casca. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 54., 2014, Natal. Anais (...). Natal: ABQ, 2014. Disponível em: <https://www.abq.org.br/cbq/2014/trabalhos/10/5469-18840.html>. Acesso em: 29 ago. 2025.

COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL, PROPRIEDADES ANTIOXIDANTES E APLICAÇÕES DE SEUS SUBPRODUTOS DA ACEROLA: REVISÃO DE LITERATURA

NUTRITIONAL COMPOSITION, ANTIOXIDANT PROPERTIES AND APPLICATIONS OF ITS ACEROLA BY-PRODUCTS: LITERATURE REVIEW

DOI: 10.65747/conali2025v3c06

Layane De Lima Bezerra[1], Tainara De Brito Dourado[1], João Vinicius Alves de Almeida[1], Kleiton Honorato Cavalcanti[2], Krause Gonçalves Silveira Albuquerque[2], Gerla Chinelate Castello Branco[3].

[1]Estudante do curso de Engenharia de Alimentos – UFAPE; [2]Mestrando em Ciências Ambientais - UFAPE; [3]Docente/pesquisador do Depto de Engenharia de Alimentos – UFAPE.

Email: layaneberralim2612@gmail.com

Resumo: O Brasil apresenta ampla diversidade climática e edafológica, favorecendo o cultivo de frutíferas tropicais, entre as quais a acerola (*Malpighia emarginata*) se destaca por seu elevado teor de vitamina C e pela presença de compostos bioativos de interesse nutricional e tecnológico. Este trabalho teve como objetivo revisar a literatura sobre as propriedades antioxidantes da acerola, sua composição química e suas aplicações, especialmente no aproveitamento de subprodutos. A metodologia consistiu em uma revisão bibliográfica realizada em bases como Google Acadêmico e Scielo, utilizando os descritores frutas, acerola, antioxidante e vitamina C, o que resultou na seleção de 16 estudos. Os resultados apontam que a acerola apresenta concentrações de ácido ascórbico que variam entre 1.000 e 5.000 mg/100 g de polpa, além de carotenoides, flavonoides, antocianinas e compostos fenólicos, responsáveis por propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e imunomoduladoras. Técnicas como extração por solventes, micro-ondas e encapsulamento têm se mostrado eficazes na preservação desses constituintes. Subprodutos como bagaço e sementes, ricos em fibras e antioxidantes, ampliam as possibilidades de aplicação em alimentos funcionais, suplementos e formulações cosméticas. Conclui-se que a acerola possui grande valor nutricional e funcional, e que seu aproveitamento integral representa alternativa sustentável e inovadora para a indústria de alimentos e outras áreas.

Palavras–chave: acerola; antioxidante; frutas; vitamina C

Abstract: Brazil boasts a wide range of climates and soils, favoring the cultivation of tropical fruits. Among them, acerola (Malpighia emarginata) stands out for its high vitamin C content and the presence of bioactive compounds of nutritional and technological interest. This study aimed to review the literature on acerola's antioxidant properties, chemical composition, and applications, particularly in the use of byproducts. The methodology consisted of a literature review conducted in databases such as Google Scholar and Scielo, using the descriptors "fruits," "acerola," "antioxidant," and "vitamin C," resulting in the selection of 16 studies. The results indicate that acerola contains ascorbic acid concentrations ranging from 1,000 to 5,000 mg/100 g of pulp, as well as

carotenoids, flavonoids, anthocyanins, and phenolic compounds, responsible for antioxidant, anti-inflammatory, and immunomodulatory properties. Techniques such as solvent extraction, microwave extraction, and encapsulation have proven effective in preserving these constituents. Byproducts such as bagasse and seeds, rich in fiber and antioxidants, expand the possibilities for applications in functional foods, supplements, and cosmetic formulations. It can be concluded that acerola has great nutritional and functional value, and that its full use represents a sustainable and innovative alternative for the food industry and other sectors.

Keywords: acerola; antioxidant; fruits; vitamin C.

INTRODUÇÃO

Com uma vasta extensão territorial, uma variedade de climas e solos, o Brasil tem condições apropriadas para o cultivo de diversas espécies de árvores frutíferas (1). Embora as frutas estejam disponíveis em abundância ao longo do ano, ainda enfrentamos dificuldades no armazenamento e comercialização desses produtos devido ao processo biológico contínuo de respiração e amadurecimento que ocorre após a colheita (2,3). As frutas possuem uma composição nutricionalmente valiosa, sendo ricas em água, açúcares, vitaminas, minerais e fibras. Contudo, devido à sua natureza altamente perecível, é comum ocorrerem perdas substanciais tanto na fase de produção quanto no armazenamento.

A acerola é reconhecida como uma das principais fontes naturais de vitamina C, apresentando elevados teores de ácido ascórbico em sua composição, o que garante grande valor nutricional tanto no consumo direto da fruta quanto em produtos processados. Além disso, sua exploração apresenta alta rentabilidade para a fruticultura, sendo a fruta fresca e a polpa congelada as formas mais comuns de comercialização (4,5). O conteúdo nutricional da acerola, entretanto, pode variar conforme fatores como condições climáticas e de solo, técnicas de cultivo, estágio de (6) maturação, além de processos de beneficiamento e conservação pós-colheita. A planta apresenta bom desenvolvimento em regiões de clima tropical e subtropical, o que, aliado à sua importância nutricional e facilidade de cultivo, favoreceu a expansão do seu cultivo em larga escala. Essa produção ampliada tem se mostrado relevante para a geração de renda e emprego, impulsionando o crescimento econômico nas áreas produtoras (7).

O Brasil ocupa posição de destaque no cenário mundial da produção de acerola, sendo atualmente o maior produtor, consumidor e também exportador dessa fruta. Entre os estados brasileiros, Pernambuco lidera a produção nacional, respondendo por 23,11% do total, seguido por Ceará (14,32%) e Bahia (10,48%), conforme dados da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará (EMATER-CE, 2023). Embora parte significativa da colheita seja destinada à exportação, principalmente para países como Estados Unidos, Japão e nações europeias, observa-se um crescimento constante no consumo interno da fruta. Os frutos da aceroleira, que possuem maior interesse comercial, são drupas de formato arredondado, com coloração variando entre tons de vermelho, roxo e amarelo, apresentando peso médio de 3 a 16 g. Sua utilização é bastante diversificada, abrangendo o consumo in natura, a elaboração (8) de polpas congeladas, sucos, geleias, suplementos, produtos nutracêuticos e até chás.

O objetivo deste trabalho através de uma revisão bibliográfica consiste em explorar o potencial da acerola como fonte de antioxidantes naturais e suas aplicações.

METODOLOGIA

No presente estudo foi realizada uma revisão bibliográfica de trabalhos relacionados ao fruto acerola e suas propriedades ao que diz respeito ao seu potencial, através de plataformas como Google Acadêmico e Scielo. Na pesquisa foram utilizadas combinações de palavras-chaves que são: frutas, acerola, antioxidante e vitamina C das quais obteve-se 16 trabalhos, que estes atenderam ao que diz respeito ao critério de exclusão por falarem diretamente sobre os processos tecnológicos da acerola.

CARACTERÍSTICAS DA ACEROLA E SUA COMPOSIÇÃO QUÍMICA

A acerola se destaca como uma fruta rica em macro e micronutrientes, listados na Tabela 1. Nos frutos maduros, predominam os açúcares, glicose e frutose, havendo ainda pequenas proporções de sacarose. Quanto aos ácidos orgânicos, o ácido málico corresponde a cerca de 32% do total presente na fruta em estágio de maturação completa, enquanto o cítrico e o tartárico aparecem em concentrações mais reduzidas (9). É importante ressaltar que suas características físico-químicas, bem como o valor nutricional, podem variar em função de diferentes fatores, como região de cultivo, condições edafoclimáticas, manejo agrícola, ponto de colheita, além dos processos de processamento e armazenamento (6).

Tabela 1 – Macro e micronutrientes da acerola

Item	Quantidade	Percentual	
Água	91,41 g	Zinco	0,10 mg
Energia	32 kcal	Ácido ascórbico total	1677,6 mg
Proteína	0,40 g	Tiamina	0,020 mg
Lipídio total (gordura)	0,30 g	Riboflavina	0,060 mg
Carboidrato, por diferença	7,69 g	Niacina	0,400 mg
Fibra alimentar total	1,1 g	Vitamina B-6	0,009 mg
Cálcio	12 mg	Folato	14 µg DFE
Ferro	0,20 mg	Vitamina A	38 µg RAE
Magnésio	18 mg	Ácidos graxos saturados totais	0,068 g

Fósforo	11 mg	Ácidos graxos monoinsaturados totais	0,082 g
Potássio	146 mg	Ácidos graxos poli-insaturados totais	0,090 g
Sódio	7 mg		

Fonte: Adaptada do USDA, Banco de Dados Nacional de Nutrientes para Referência Padrão.

Segundo (10), a acerola é amplamente utilizada na formulação de suplementos alimentares, principalmente por contribuir para o fortalecimento do sistema imunológico, aumentar a ação antioxidante do organismo e atender a necessidades nutricionais específicas. De acordo com (11), a combinação entre o elevado teor de vitamina C e a presença de β-caroteno torna o fruto especialmente relevante do ponto de vista nutricional. Já (12), destacam que, além de sua reconhecida concentração de ácido ascórbico, a acerola apresenta expressiva variedade de compostos bioativos, como carotenoides, fenólicos, flavonoides e antocianinas. Nesse contexto, (13) ressalta a importância do processamento da fruta, pois essa prática viabiliza a utilização de grande parte da produção e garante sua disponibilidade para consumo durante todo o ano.

O elevado teor de ácido ascórbico presente na acerola é o principal fator que impulsiona o interesse por sua produção, aspecto identificado já na década de 1940, quando a fruta passou a despertar grande atenção da indústria (14). A partir desse cenário, programas de melhoramento genético passaram a desenvolver clones de aceroleira com o objetivo de aumentar ainda mais a concentração de vitamina C e de antocianinas nos frutos (15). Estudos de (16) evidenciam que a polpa da acerola pode conter de 1.000 a 5.000 mg de vitamina C em cada 100 g, um valor expressivo que reforça a importância desse nutriente essencial para o crescimento, manutenção e bom funcionamento do organismo humano.

A acerola tem se destacado no setor farmacêutico por apresentar elevado valor nutracêutico. Esse fruto é uma fonte importante de vitamina C (ácido ascórbico), além de conter aminoácidos, minerais, carotenoides, compostos fenólicos, licopeno e antocianinas, o que tem motivado diversas pesquisas (17). Graças à combinação de seus constituintes bioativos e à ação funcional que exercem, a acerola vem sendo largamente incorporada na formulação de suplementos dietéticos. O interesse científico

cresce sobretudo pelos efeitos antioxidantes associados à fruta, bem como por seu impacto positivo sobre a saúde metabólica e celular. Estudos recentes sugerem ainda que a vitamina C presente no suco de acerola apresenta melhor absorção e excreção quando comparada ao ácido ascórbico isolado, possivelmente em função da interação com flavonoides naturalmente presentes no fruto (18).

PROPRIEDADES ANTIOXIDANTES DOS COMPOSTOS BIOATIVOS DA ACEROLA

O crescente interesse do mercado por suplementos alimentares mais saudáveis, obtidos a partir de frutas e hortaliças, aliado à necessidade da indústria em reduzir resíduos, favoreceu a adoção do conceito de economia circular. Nesse contexto, ampliou-se também a atenção voltada para o aproveitamento de subprodutos gerados ao longo da cadeia produtiva de alimentos (19,20). A valorização desses resíduos pode ocorrer por meio de sua aplicação na formulação de alimentos funcionais, ingredientes ou aditivos, bem como em setores diversos, como o farmacêutico, químico e cosmético. Além disso, há potencial para seu uso na produção de fertilizantes e rações animais (21). Entre os destinos mais recorrentes para cascas e sementes destaca-se a pirólise, processo que possibilita a obtenção de materiais aplicáveis como combustível sólido ou condicionador de solo (22). Estudos recentes apontam que a semente da acerola apresenta entre 17,61% e 21,98% de carbono fixado (22).

Os compostos bioativos presentes na acerola têm sido amplamente investigados devido às suas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e imunomoduladoras. Evidências de estudos in vitro e in vivo demonstram que a fruta exerce atividade antioxidante tanto por meio do conjunto de seus constituintes quanto por compostos específicos, como polifenóis e antocianinas. Esses antioxidantes atuam protegendo as células contra os danos causados pelos radicais livres, o que contribui para a diminuição do risco de enfermidades associadas ao estresse oxidativo (23). Além disso, experimentos em modelos animais sugerem que o suco de acerola apresenta um efeito antioxidante superior ao da vitamina C isolada, aliado a propriedades anti-inflamatórias e a outros benefícios para a saúde (18).

Pesquisas realizadas com o bagaço da acerola apontam a presença de diversos compostos bioativos, como antocianinas, carotenoides, vitamina C, fenólicos e flavonoides, o que evidencia o potencial de produtos microencapsulados derivados desse resíduo, favorecendo sua estabilidade, fornecimento e aplicação comercial. Outro destaque é o aproveitamento da farinha obtida a partir desse subproduto, que contém

cerca de 77% de fibras alimentares e antioxidantes, possibilitando seu uso como ingrediente enriquecedor em formulações de pães, bolos e biscoitos (24,25).

Na indústria de alimentos, compostos bioativos são amplamente aplicados para prolongar a vida útil dos produtos, agregar valor e oferecer benefícios à saúde (26). Um exemplo é a utilização de antioxidantes sintéticos na panificação para melhorar características tecnológicas. Contudo, alternativas naturais, como o ácido ascórbico, podem trazer vantagens adicionais, entre elas o aumento do volume de pães sem glúten, a redução da firmeza da massa e a melhora da mastigabilidade do miolo, promovendo efeitos positivos à saúde do consumidor (27). Diante da presença significativa de antocianinas, carotenoides, fenólicos e vitamina C em seus resíduos, demonstrada por diversos estudos recentes, a acerola surge como uma matéria-prima ainda pouco explorada, mas com grande potencial de inovação, especialmente no desenvolvimento de novos produtos de panificação.

TÉCNICAS DE EXTRAÇÃO DOS COMPOSTOS ANTIOXIDANTES DA ACEROLA

Diversos métodos são utilizados para a extração de compostos bioativos, incluindo a extração por solventes, com fluido supercrítico, com água subcrítica, além de técnicas enzimáticas, ultrassônicas e por micro-ondas (28). A escolha do método mais adequado depende das características do material de origem e do tipo de bioatividade que se deseja obter (29). Na tabela 2 temos alguns desses métodos.

Tabela 2 –Métodos de preparação, extração e obtenção de compostos bioativos em subprodutos da acerola.

Matéria-prima	Método de preparação	Método de extração	Compostos identificados	Referências
Bagaço e resíduo da decantação do processamento do suco de acerola	Secagem em estufa a vácuo (40 °C)	Tratamento Hidrotérmico e nanofiltração	Catequina, epicatequina, ácido cafeico, rutina, quercetina,kaempferol	(Borges e outros, 2021)
Bagaço e resíduo da decantação do processamento do suco de acerola	Secagem em estufa a vácuo (40 °C)	Extração com líquidos expandidos a gás (GXL)	Carotenoides, luteína, ácido ascórbico, rutina, quercetina, kaempferol	(Poletto e outros, 2021)

Bagaço	Secagem em estufa a vácuo com circulação de ar (60°C)	Extração com etanol e hexano	Carotenoides e antocianinas	(Monteiro et al., 2020)
Semente e casca	Pré-tratamento com etanol e secagem em rotoaerador	Extração convencional com solventes	Ácidos orgânicos, compostos fenólicos e flavonoides	(Silva e outros, 2016)
Semente, casca e polpa	Liofilização	Extração com metanol (50%) e acetona (70%)	Antocianinas, carotenoides e flavonoides	(Carmo et al., 2018)
Semente e casca	Trituração, mistura com etanol e acidificação com ácido clorídrico, seguida de concentração em rotaevaporador	Extração convencional com agitador e extração assistida por ultrassom	Antocianinas, carotenoides, compostos fenólicos e ácido ascórbico	(Rezende et al., 2017)

Fonte: Autores, 2025

De acordo com diferentes estudos, a vitamina C um composto hidrossolúvel de seis carbonos e considerado o principal nutriente presente na acerola apresenta elevada instabilidade, podendo ser facilmente degradada em soluções aquosas, especialmente quando exposta ao oxigênio e a íons metálicos, que favorecem alterações de pH (30,31). Dessa forma, a obtenção e recuperação desse composto requerem processos menos agressivos. Entre as alternativas, a associação da aplicação de micro-ondas com a rotação de cilindros tem se mostrado eficaz na secagem do subproduto da acerola, garantindo maior retenção de compostos bioativos e auxiliando na inativação de enzimas, fator crucial para manter a vitamina C estável nessas condições (32). Outra estratégia de conservação é o encapsulamento, técnica em que um composto ativo é incorporado a uma matriz de proteção. Esse recurso tem sido amplamente utilizado para reduzir perdas relacionadas a fatores como calor, luz, oxigênio e umidade, além de contribuir para minimizar alterações sensoriais e preservar a qualidade de substâncias mais suscetíveis à degradação (33).

A escolha do método de extração deve levar em conta as particularidades da planta de origem, bem como a diversidade de compostos presentes em sua matriz. Pesquisas apontam que solventes orgânicos, como etanol, metanol e acetona, apresentam eficiência na remoção de flavonoides e carotenoides a partir do bagaço das sementes de acerola. Contudo, a polaridade do solvente exerce influência direta sobre a eficiência do processo. Nesse sentido, a utilização de acetona associada à agitação tem se destacado pela capacidade de recuperar quantidades expressivas de ácido ascórbico e fenólicos totais. Por outro lado, a aplicação de extração em alta pressão, por meio de fluido supercrítico, demonstrou condições favoráveis para a obtenção de carotenoides (34,25).

Nos últimos anos, o aumento da demanda por alimentos com maior qualidade, boa aceitação sensorial e maior durabilidade tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias não térmicas, como o uso de alta pressão, pulsos elétricos e radiação por micro-ondas (35). A extração de compostos fenólicos, de maneira geral, envolve três etapas principais: o pré-tratamento da matéria-prima, a extração propriamente dita e a etapa de purificação. Em todas essas fases, recomenda-se evitar condições de alta temperatura, a fim de preservar os compostos de interesse. Entre as alternativas, a extração assistida por micro-ondas destaca-se como uma técnica sustentável, uma vez que requer menor quantidade de solvente, garante a integridade dos bioativos, reduz o tempo de processamento e o consumo de energia, além de representar vantagens ambientais importantes (36).

APLICAÇÕES DE EXTRATOS DE ACEROLA EM BEBIDAS FUNCIONAIS

Apesar de os subprodutos poderem ser aproveitados in natura, devido à elevada concentração de nutrientes, a transformação em farinhas ou pós tem se mostrado mais recomendada. A literatura descreve o desenvolvimento de diversos alimentos elaborados a partir de subprodutos desidratados, incluindo pães, bolos, biscoitos, muffins, barras de cereais e até salgadinhos. Nesse contexto, a etapa de moagem desempenha papel essencial, pois auxilia na padronização da aparência e na uniformização da composição, que pode variar conforme as diferentes frações dos subprodutos (37). No caso específico do resíduo da acerola, algumas propriedades tecnológicas merecem destaque, como o elevado teor de fibras, a capacidade de retenção de água e óleo e a estabilidade em emulsões, características que ampliam suas possibilidades de uso em formulações de panificação e produtos cárneos (38).

Além disso, a presença de constituintes anfifílicos confere interação tanto com fases aquosas quanto oleosas, o que também desperta interesse para aplicações cosméticas. Nesse sentido, surfactantes naturais derivados da acerola surgem como alternativas mais sustentáveis em comparação aos sintéticos de base petroquímica. Estudos recentes apontam, inclusive, que compostos aniônicos extraídos desse fruto apresentam potencial promissor para a indústria de cosméticos (39).

Os flavonoides apresentam reconhecida ação antimicrobiana e, quando utilizados em conjunto com antibióticos, podem representar uma alternativa promissora no enfrentamento da resistência microbiana observada frente a fármacos tradicionais (40). Pesquisas também destacam o potencial das folhas como fonte de fibras e vitaminas, além de efeitos antioxidantes, anti-inflamatórios e antimicrobianos. A presença de compostos como pectinas associadas à criopreservação de leucócitos e de moléculas com propriedades anti-inflamatórias reforça a necessidade de novas investigações voltadas ao estímulo de respostas imunológicas, cicatrizantes e antitumorais (41).

No mercado, já se encontram diferentes produtos derivados da acerola, utilizados como suplementos nutricionais e imunológicos, tais como polpas congeladas, frutas frescas, formas liofilizadas (pó e fruta) e formulações concentradas em vitamina C (42). Essa vitamina, amplamente abundante na acerola, é apontada como essencial na prevenção do escorbuto, no alívio e prevenção de infecções bacterianas e virais e ainda na regulação dos níveis de colesterol (43). Apesar disso, o aproveitamento do bagaço da acerola ainda é limitado: em maior parte, destina-se à adubação de lavouras (44) ou ao descarte em aterros, e apenas uma fração reduzida é usada como ração animal, embora apresente benefícios nutricionais (45). Esse cenário evidencia que o potencial do subproduto ainda não é plenamente explorado pela indústria (25). Considerando a previsão de crescimento populacional nas próximas décadas, a demanda por alimentos tende a se intensificar. Nesse contexto, a valorização de resíduos agroindustriais, como o bagaço de acerola, pode contribuir significativamente. Sua composição química o torna um insumo de interesse não apenas para a indústria de alimentos, mas também para os setores farmacêutico e químico.

PERSPECTIVAS FUTURAS E INOVAÇÃO

A escassez de recursos naturais e os impactos das mudanças climáticas têm comprometido a segurança alimentar, ampliando a diferença entre a oferta e a demanda por alimentos. Nesse cenário, o aproveitamento integral da matéria-prima surge como uma estratégia essencial para garantir o fornecimento de alimentos à população mundial (46). Além de reduzir impactos ambientais, a incorporação de subprodutos de frutas e hortaliças em novos produtos aumenta o valor nutricional e funcional. Para isso, torna-se necessário desenvolver tecnologias acessíveis, de baixo custo e capazes de preservar os compostos de interesse. A reutilização desses resíduos abre um leque de aplicações, como formulações de rações, ingredientes para a indústria cosmética, aditivos alimentares e nutracêuticos, configurando-se como alternativa sustentável e economicamente viável (36).

Entre os compostos bioativos de maior relevância encontrados nos subprodutos da acerola destacam-se os flavonoides rutina e quercetina, frequentemente citados na literatura por seus efeitos biológicos. Essas moléculas apresentam propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e neuroprotetoras, com potencial aplicação no tratamento de enfermidades como artrite reumatoide e esclerose múltipla (25,47), o que reforça a importância de investigar sua presença no bagaço da acerola. A crescente demanda por ingredientes inovadores que melhorem tanto o valor nutricional quanto às propriedades tecnológicas de produtos de origem vegetal aponta para a valorização dos resíduos gerados no processamento da acerola. Aspectos como o elevado teor de fibras, a acidez característica, a concentração de vitamina C e os benefícios associados à saúde tornam o bagaço um ingrediente promissor. Nesse sentido, é necessário intensificar estudos voltados à otimização das técnicas de extração, isolamento e purificação de compostos bioativos, bem como ampliar pesquisas sobre suas aplicações em diferentes setores. Dessa forma, evita-se o descarte ou incineração desse resíduo, permitindo que seu potencial seja explorado de forma mais abrangente e estratégica.

CONCLUSÃO

A acerola se consolida como uma das frutas de maior relevância nutricional, especialmente pelo seu expressivo teor de vitamina C e pela diversidade de compostos bioativos que contribuem para propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e funcionais. Além de seu papel no consumo in natura e no processamento em polpas, sucos e suplementos, a valorização de seus subprodutos, como bagaço e sementes, representa uma alternativa estratégica para reduzir perdas, ampliar a sustentabilidade

e agregar valor em diferentes setores da indústria. Estudos demonstram que técnicas de extração inovadoras, aliadas a métodos de conservação como o encapsulamento, favorecem a estabilidade dos compostos de interesse, garantindo maior viabilidade de uso em formulações alimentícias, farmacêuticas e cosméticas. Dessa forma, a acerola não apenas reforça seu potencial como alimento funcional e nutracêutico, mas também se apresenta como insumo promissor para o desenvolvimento de novos produtos alinhados às demandas por saúde, inovação e aproveitamento integral dos recursos naturais.

REFERÊNCIAS

1. CARVALHO, C. Anuário brasileiro da fruticultura 2017. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2017. Disponível em: https://www.editoragazeta.com.br/anuario-brasileiro-da-fruticultura-2017/. Acesso em: 22 maio 2023.

2. CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005.

3. CENCI, S. A. Boas práticas de pós-colheita de frutas e hortaliças na agricultura familiar. In: NETO, F. do N. (Org.). Recomendações básicas para a aplicação das boas práticas agropecuárias e de fabricação na agricultura familiar. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. Disponível em: https://www.embrapa.br. Acesso em: 28 maio 2023.

4. MENDONÇA, V.; MEDEIROS, F. L. Culturas da aceroleira e do maracujazeiro. Mossoró: Universidade Federal Rural do Seminário, 2011. 52 p. Disponível em: https://pt.scribd.com/document/235280031/Fruticultura-Volume-4-Culturas-Da-Acerola-e-Maracujazeiro-1. Acesso em: 29 maio 2023.

5. SEGTOWICK, E. C. S.; BRUNELLI, L. T.; FILHO, V. W. G. Avaliação físico-química e sensorial de fermentado de acerola. Brazilian Journal of Food Technology, Campinas, v. 16, n. 2, p. 147-154, 2013. Disponível em: https://www.scielo.br. Acesso em: 29 maio 2023.

6. DELVA, L.; SCHENEIDER, R. G. Acerola (Malpighia emarginata DC): production, postharvest handling, nutrition, and biological activity. Food Reviews International, v. 29, p. 107–126, 2013.

7. DOS SANTOS, T. S. R.; LIMA, R. A. Cultivo de *Malpighia emarginata* L. no Brasil: uma revisão integrativa. Journal of Biotechnology and Biodiversity, v. 8, n. 4, p. 333-338, 2020. Disponível em: https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/JBB/article/view/9418. Acesso em: 15 nov. 2023..

8. FRANZÃO, A. A.; MELO, B. Cultura da aceroleira, 2019. Disponível em: http://www.fruticultura.iciag.ufu.br/acero-leira.htm. Acesso em: 16 nov. 2023. INSTITUTO ADOLFO LUTZ – IAL. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4. ed. São Paulo, SP: IAL, 2008. 1020 p.

9. RIGUETTO, A. M.; NETTO, F. M.; CARRARO, F. Chemical composition and antioxidant activity of juices from mature and immature acerola (*Malpighia emarginata* DC). Food Science and Technology International, v. 11, n. 4, p. 315-321, 2005..

10. BELWAL, T.; DEVKOTA, H. P.; HASSAN, H. A.; AHLUWALIA, S.; RAMADAN, M. F.; MOCAN, A.; ATANASOV, A. G. Phytopharmacology of acerola (*Malpighia* spp.) and its potential as functional food. Trends in Food Science & Technology, v. 74, p. 99-106, 2018.

11. CAETANO, P. K.; DAIUTO, E. R.; VIEITES, R. L. Característica físico-química e sensorial de geleia elaborada com polpa e suco de acerola. Food Technology, v. 15, p. 191-197, 2012.

12. PRAKASH, A.; BASKARAN, R. Acerola, an untapped functional superfruit: a review on latest frontiers. Journal of Food Science and Technology, v. 55, n. 9, p. 3373–3384, 2018.

13. SANTOS, N. S.; SILVA, J. C. de S.; ARAÚJO, C. de A.; LIMA, K. F. de; SILVA, F. G. A. da. Caracterização da conservação refrigerada da acerola (*Malpighia emarginata*) sob atmosfera modificada. Diversitas Journal, Santana do Ipanema/AL, v. 5, n. 1, p. 12-19, 2020.

14. SOUZA, F. de F.; DEON, M. D.; CASTRO, J. M. da C. e; CALGARO, M. Contribuições das pesquisas realizadas na Embrapa Semiárido para a cultura da aceroleira. Petrolina: Embrapa, 2017. 28 p. (Embrapa Semiárido. Documentos, 282).

15. CUNHA NETO, J.; RABELO, M. C.; BERTINI, C. H. C. de M.; MARQUES, G. V.; MIRANDA, M. R. A. de. Caracterização agronômica e potencial antioxidante de frutos de clones de aceroleira. Revista Ciência Agronômica, v. 43, n. 4, p. 713-721, 2012.

16. URBANO, G. R.; ZEPONI, J.; SEIBEL, N. F.; SAKATA, L. S. Avaliação de parâmetros de qualidade físico-química e microbiológica de polpa de acerola congelada. Retec, v. 4, 2011.

17. NUNES, Marcelo Henrique Raulino Soares. Estudo de caso do cultivo de acerola em Maranguape, Ceará. 2020.

18. ANDRADE, Y. N. G. M. Efeitos da ingestão do suco de acerola em mulheres submetidas a um treino específico de treinamento funcional de alta intensidade. 2023. 29 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade Federal do Ceará, Sobral, 2023.

19. MAINA, S.; KACHRIMANIDOU, V.; KOUTINAS, A. Do desperdício aos produtos de base biológica: um roteiro para uma bioeconomia circular e sustentável. Opinião Atual em Química Verde e Sustentável, v. 8, p. 18-23, 2017..

20. REZENDE, Y. R. R. S.; NOGUEIRA, J. P.; NARAIN, N. Comparação e otimização da extração convencional e assistida por ultrassom para compostos bioativos e atividade antioxidante de resíduo agroindustrial de acerola

(*Malpighia emarginata* DC). LWT – Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 85, p. 158-169, 2017. DOI: 10.1016/j.lwt.2017.07.020.

21. GARCIA, V. A. S.; BORGES, J. G.; VANIN, F. M.; CARVALHO, R. A. Estabilidade da vitamina C em pó de acerola e camu-camu obtido por secagem por atomização. Revista Brasileira de Tecnologia de Alimentos, v. 23, p. e2019237, 2020.

22. SILVA, N. N. B. Efeitos de diferentes materiais parede no microencapsulamento de suco misto de acerola (*Malpighia emarginata* DC) e ciriguela (*Spondias purpurea* L.). 2020. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Economia Doméstica) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2020.

23. PEREIRA, R. N. Caracterização da polpa de acerola e aplicações tecnológicas: uma revisão. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2023.

24. MONTEIRO, S. A.; BARBOSA, M. M.; SILVA, F. F. M.; BEZERRA, R. F.; MAIA, K. S. Elaboração, avaliação fitoquímica e bromatológica de farinha obtida a partir de resíduo agroindustrial de acerola (*Malpighia punicifolia*) com potencial utilização como fonte de fibra. LWT, v. 134, Art. 110142, 2020. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.110142.

25. POLETTO, P.; ALVAREZ-RIVERA, G.; GERSON-DIRCEU, L.; BORGES, O. M. A.; MENDIOLA, J. A.; IBÁÑEZ, E.; CIFUENTES, A. Recuperação de ácido ascórbico, compostos fenólicos e carotenoides de subprodutos da acerola: uma oportunidade para sua valorização. LWT, v. 146, Art. 111654, 2021. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111654.

26. NIU, B.; SHAO, P.; LUO, Y.; SUN, P. Avanços recentes de partículas eletropulverizadas como sistemas de encapsulamento de bioativos para aplicação em alimentos. Hidrocolóides Alimentares, v. 99, Art. 105376, 2020. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2019.105376.

27. BOUREKOUA, H.; GAWLIK-DZIKI, U.; ROZYLO, R.; ZIDOUNE, M. N.; DZIKI, D. Acerola como ingrediente antioxidante natural para pão sem glúten: uma abordagem para melhorar a qualidade do pão. Ciência e Tecnologia de Alimentos Internacional, v. 27, n. 1, p. 13-21, 2020. DOI: 10.1177/1082013220929152.

28. KUMAR, K.; YADAV, A. N.; KUMAR, V.; VYAS, P.; DHALIWAL, H. S. Desperdício de alimentos: um biorrecurso potencial para extração de nutracêuticos e compostos bioativos. Biorecursos e Bioprocessamento, v. 4, p. 1-14, 2017. DOI: 10.1186/s40643-017-0148-6.

29. PATTNAIK, M.; PANDEY, P.; MARTIN, G. J. O.; MISHRA, H. N.; ASHOKKUMAR, M. Tecnologias inovadoras para extração e microencapsulação de bioativos de resíduos alimentares de origem vegetal e suas aplicações no desenvolvimento de alimentos funcionais. Alimentos, v. 10, p. 1-30, 2021.

30. CARITÁ, A. C.; FONSECA-SANTOS, B.; SHULTZ, J. D.; MICHNIAK-KOHN, B.; CHORILLI, M.; LEONARDI, G. R. Vitamina C: um composto, vários usos. Avanços em distribuição, eficiência e estabilidade. Nanomedicina:

Nanotecnologia, Biologia e Medicina, v. 24, Art. 102117, 2020. DOI: 10.1016/j.nano.2019.102117..

31. GUEDES, T. J. F. L.; RAJAN, M.; BARBOSA, P. F.; SILVA, E. S.; MACHADO, T. O. X.; NARAIN, N. Composição fitoquímica e potencial antioxidante de diferentes variedades, Flor Branca, Costa Rica e Junco, de frutos verdes de acerola (*Malpighia emarginata* DC). Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 2061, p. 1-9, 2020.

32. RAMADÃ, L.; DUARTE, C. R.; BARROZO, M. A. S. Um novo sistema híbrido para reaproveitamento de resíduos agroindustriais de acerola: desidratação e análise fluidodinâmica. Resíduos e Valorização da Biomassa, v. 10, p. 2273-2283, 2019. DOI: 10.1007/s12649-018-0247-4.

33. ĐORDEVIC, V.; BALANC, B.; BELSCAK-CVITANOVIC, A.; LEVIC, S.; TRIFKOVIC, K.; KALUSEVIC, A.; NEDOVIC, V. Tendências em tecnologias de encapsulamento para entrega de compostos bioativos em alimentos. Revisões de Engenharia de Alimentos, v. 7, p. 452-490, 2015. DOI: 10.1007/s12393-014-9106-7.

34. GUALBERTO, N. C.; OLIVEIRA, C. S. de; NOGUEIRA, J. P.; JESUS, S. de; CAROLINE, H.; ARAUJO, S.; NARAIN, N. Compostos bioativos e atividades antioxidantes em resíduos agroindustriais de frutos de acerola (*Malpighia emarginata* L.), goiaba (*Psidium guajava* L.), jenipapo (*Genipa americana* L.) e umbu (*Spondias tuberosa* L.) assistidos por extração ultrassônica ou em shaker. Pesquisa Alimentar Internacional, v. 147, Art. 110538, 2021.

35. OZKAN, G.; GULDIKEN, B.; CAPANOGLU, E. Efeito de novas tecnologias de processamento de alimentos em antioxidantes de bebidas. Processamento e Sustentabilidade de Bebidas, p. 413–449, 2019.

36. JIMENEZ-LOPEZ, C.; FRAGA, M.; CARPENA, M.; GARCÍA-OLIVEIRA, P.; ECHAVE, J.; PEREIRA, A. G.; SIMAL-GANDARA, J. Valorização de resíduos agrícolas como fonte de compostos fenólicos antioxidantes numa bioeconomia circular e sustentável. Alimentos e Função, p. 0–40, 2020. DOI: 10.1039/D0FO00937G.

37. LARROSSA, A. P. Q.; OTERO, D. M. Farinha de subprodutos de frutas: características, condições de processamento e aplicações. Revista de Processamento e Preservação de Alimentos, v. 45, p. e15398, 2020.

38. MARQUES, T. R.; CORREA, A. D.; LINO, J. B. R.; ABREU, C. M. P.; SIMÃO, A. A. Componentes químicos e propriedades funcionais da farinha de resíduo de acerola (*Malpighia emarginata* DC.). Revista de Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 33, p. 526-531, 2013.

39. BEZERRA, K. G. O.; SILVA, I. G. S.; ALMEIDA, F. C. G.; RUFINO, R. D.; SARUBBO, L. A. Biossurfactantes derivados de plantas: extração, características e propriedades para aplicação em cosméticos. Biocatálise e Biotecnologia Agrícola, v. 34, Art. 102036, 2021. DOI: 10.1016/j.bcab.2021.102036.

40. RASOULI, H.; HOSSEINI-GHAZVINI, S. M. B.; KHODARAHMI, R. Potenciais terapêuticos dos flavonoides mais estudados: destacando funcionalidades

antibacterianas e antidiabéticas. Estudos em Química de Produtos Naturais, v. 60, p. 85-122, 2018. DOI: 10.1016/B978-0-444-64181-6.00003-6.

41. BARROS, B. R. S.; NASCIMENTO, D. K. D.; ARAÚJO, D. R. C.; BATISTA, F. R. C.; LIMA, A. M. N. O.; CRUZ FILHO, I. J.; MELO, C. M. L. Análise fitoquímica, perfil nutricional e atividade imunoestimulatória do extrato aquoso das folhas de *Malpighia emarginata* DC. Biocatálise e Biotecnologia Agrícola, v. 23, Art. 101442, 2020. DOI: 10.1016/j.bcab.2019.101442.

42. BELWAL, T.; DEVKOTA, H. P.; HASSAN, H. A.; AHLUWALIA, S.; RAMADAN, M. F.; MOCAH, A.; ATANASOV, A. G. Fitofarmacologia da acerola (*Malpighia* spp.) e seu potencial como alimento funcional. Tendências em Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 74, p. 99-106, 2018. DOI: 10.1016/j.tifs.2018.01.014.

43. ASHOR, A. W.; BROWN, R.; KEENAN, P. D.; WILLIS, N. D.; SIERVO, M.; MATHERS, J. C. Evidências limitadas de um efeito benéfico da suplementação de vitamina C em biomarcadores de doenças cardiovasculares: uma revisão abrangente de revisões sistemáticas e meta-análises. Pesquisa em Nutrição, v. 61, p. 1-12, 2018. DOI: 10.1016/j.nutres.2018.08.005.

44. SILVA, G. V.; MACHADO, B. A. S.; OLIVEIRA, W. P.; SILVA, C. F. G.; QUADROS, C. P.; DRUZIAN, J. I.; UMSZA-GUEZ, M. A. Efeito de métodos de secagem sobre compostos bioativos e capacidade antioxidante em resíduos de casca de uva da nova variedade híbrida “BRS Magna”.

45. BORGES, O. M. A.; CESCA, K.; AREND, G. D.; ALVAREZ-RIVERA, G.; CIFUENTES, A.; ZIELINSKI, A. A. F.; POLETTO, P. Métodos integrados baseados em princípios verdes para recuperar compostos bioativos de subprodutos do processamento da acerola. LWT, v. 151, Art. 112104, 2021. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112104.

46. VILLACÍS-CHIROBOGA, J.; ELST, K.; CAMP, J. V.; VERA, E.; RUALES, J. Valorização de subprodutos de frutas tropicais: metodologias de extração, aplicações, avaliação ambiental e econômica: uma revisão (Parte 1: Visão geral dos subprodutos, práticas tradicionais de biorrefinaria e possíveis aplicações). Revisões Abrangentes em Ciência Alimentar e Segurança Alimentar, v. 19, p. 405-447, 2020. DOI: 10.1111/1541-4337.12542.

47. SHEN, P.; LIN, W.; DENG, X.; BA, X.; HAN, L.; CHEN, Z.; QIN, K.; HUANG, Y.; TU, S. Implicações potenciais da quercetina em doenças autoimunes. Frontiers in Immunology, v. 12, Art. 689044, 2021. DOI: 10.3389/fimmu.2021.689044.

CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE MANGA ‘TOMMY ATKINS’ TRATADAS COM CALDA BORDALESA E ÓLEO DE ALECRIM

POSTHARVEST CONSERVATION OF 'TOMMY ATKINS' MANGOES TREATED WITH BORDEAUX MIXTURE AND ROSEMARY OIL

DOI: 10.65747/conali2025v3c07

Aline Diniz Barbosa Arriel[1]; Railene Hérica Carlos Rocha Araújo[2]; Kalinny de Araújo Alves[3]; Yago Kenedy Martins Claudino[4]; Aluska da Silva[5]; Yasmin Diniz de Morais[6]

[1]Estudante do Curso de Engenharia de Alimentos - CTRN– UFCG; E-mail: aline.barbosa@estudante.ufcg.edu.br

[2]Docente do Departamento de Engenharia de Alimentos - CTRN– UFCG; E-mail: railene.herica@professor.ufcg.edu.br

[3]Estudante do Curso de Pós-graduação em Engenharia de Processos - CTRN– UFCG; E-mail: kalialves1607@gmail.com

[4]Estudante do Curso de Engenharia de Alimentos - CTRN– UFCG; E-mail: kevenyyago@gmail.com

[5]Estudante do Curso de Engenharia de Alimentos - CTRN– UFCG; E-mail: aluska.silva@estudante.ufcg.edu.br

[6]Estudante do Curso de Engenharia de Alimentos - CTRN– UFCG; E-mail: yasmindm67@gmail.com

Resumo: Dentre as frutas tropicais mais consumidas no mundo, destaca-se a manga por possuir sabor agradável e alto valor nutritivo. A manga é um fruto climatérico com baixa vida útil, o que faz necessário a adoção de tecnologias pós-colheita para contribuir à expansão de sua comercialização. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a conservação pós-colheita de manga 'Tommy Atkins' orgânica sob tratamentos com calda bordalesa e óleo de alecrim. A manga colhida em estádio de maturação comercial foi tratada com calda bordalesa (0%; 0,5% e 1%) e óleo de alecrim (0%; 0,5%), armazenada a 24±3 °C e 50±5% UR durante o período de 9 dias. Os frutos foram submetidos a avaliações de perda de massa fresca, firmeza, cor, sólidos solúveis, acidez titulável, pH e ácido ascórbico. A aplicação de calda bordalesa e óleo de alecrim influenciou positivamente a qualidade pós-colheita de mangas durante o armazenamento, especialmente nos parâmetros de pH, relação sólidos solúveis/acidez titulável, ácido ascórbico e retardo do amadurecimento. Sendo assim, nas condições avaliadas, conclui-se que a combinação dos dois mostrou potencial para prolongar a conservação sem comprometer os atributos físico-químicos.

Palavras–chave: armazenamento; *Mangifera indica*; qualidade; segurança alimentar

Abstract: Among the most consumed tropical fruits worldwide, mango stands out due to its pleasant flavor and high nutritional value. Mango is a climacteric fruit with a short shelf life, which necessitates the adoption of postharvest technologies to support the expansion of its commercialization. Thus, the objective of this study was to evaluate the postharvest preservation of organic 'Tommy Atkins' mangoes under treatments with Bordeaux mixture and rosemary oil. Mangoes harvested at commercial ripening stage were treated with Bordeaux mixture (0%, 0.5%, and 1%) and rosemary oil (0% and 0.5%), and stored at 24±3 °C and 50±5% relative humidity for a period of 9 days. The fruits were evaluated for fresh weight loss, firmness, color, soluble solids, titratable acidity, pH, and ascorbic acid. The application of Bordeaux mixture and rosemary oil positively influenced the postharvest quality of mangoes during storage, especially regarding pH, soluble solids/titratable acidity ratio, ascorbic acid content, and delayed ripening. Therefore, under the evaluated conditions, it is concluded that the combination of both treatments showed potential to extend shelf life without compromising the physicochemical attributes.

Keywords: edible coating; food security; *Mangifera indica;* quality, storage

INTRODUÇÃO

A manga (*Mangifera indica* L) é uma das frutas tropicais mais procuradas no mundo e possui grande demanda no mercado. Trata-se de um alimento altamente nutritivo, rico em fibras, minerais, vitamina A e vitamina C (**1**). A manga tem ganhado importância econômica devido ao seu amplo consumo em diversos países, na qual cerca de 80% de sua produção é destinada à exportação (2). Dentre as diversas cultivares, destaca-se a manga ‘Tommy Atkins’, amplamente cultivada no Brasil por apresentar coloração atraente, polpa carnosa e sabor e aroma agradáveis (3). Além disso, essa variedade apresenta uma colheita mensal constante (4).

No entanto, apesar da alta produtividade, a vida útil da manga é curta, o que limita seu aproveitamento comercial (5). Esse fruto é suscetível a doenças pós-colheita, como a antracnose e a podridão peduncular (2), além de ser sensível a variações de temperatura e a danos físicos durante o manuseio e transporte, representando um desafio para sua conservação (6). Esses fatores podem comprometer o aspecto sensorial do fruto, influenciado diretamente pelo grau de maturação no momento da colheita e pelas condições de armazenamento (2). Neste contexto, o Brasil apresenta uma das maiores taxas de perdas pós-colheita de manga, reforçando a necessidade de adoção de tecnologias que prolonguem sua conservação e qualidade ao longo da cadeia produtiva (5).

Para atender às exigências dos mercados consumidores, a manutenção da qualidade é essencial. A crescente demanda por frutas frescas e livres de resíduos químicos tem impulsionado o desenvolvimento de técnicas pós-colheita mais eficientes, especialmente em sistemas de produção orgânica (2, 7). Sendo assim, diversas técnicas e estratégias têm sido empregadas com o objetivo de prolongar a vida útil pós-colheita, com destaque para o uso de revestimentos e soluções pós-colheita. As soluções com propriedades conservantes à base de óleos essenciais e coberturas à

base de biopolímeros biodegradáveis, têm se mostrado alternativas sustentáveis para estender a vida útil de frutas (8, 9). Essas tecnologias atuam como uma barreira protetora para os frutos, modificando o ambiente interno, reduzindo a perda de água e isolando os frutos de fatores externos. Dessa forma, prolongam a vida útil, melhoram a preservação e mantêm o valor nutricional (10).

Uso de óleos essenciais para soluções comestíveis ajudam na conservação de alimentos na fase de pós-colheita retardando o amadurecimento da manga e maior índice de aceitação no mercado pelo consumidor (11). Juntamente aos óleos essenciais, ressalta-se o uso da calda bordalesa como um aliado a conservação na pós-colheita quando se trata de frutos climatéricos e apresenta um período de curto na sua conservação, minimização a maturação rápida e mais tempo de prateleira *in natura* (12).

O alecrim (*Rosmarinus officinalis L.*) é uma planta perene e aromática, amplamente utilizada no tratamento de doenças devido às suas propriedades antimicrobianas, anti inflamatórias, antioxidantes, anti apoptóticas, anti tumorigênicas, antinociceptivas e neuroprotetoras (13). E os seus extratos são amplamente utilizados na indústria alimentícia para a conservação de alimentos (14). O óleo de alecrim é rico em compostos fenólicos e voláteis bioativos, tendo despertado interesse como agente natural de conservação, com potencial para prolongar a vida útil dos frutos e preservar atributos sensoriais e nutricionais e pode fornecer um controle eficaz na conservação da manga (15).

Já a calda bordalesa, tradicionalmente utilizada no controle fitossanitário de plantas, é uma mistura de sulfato de cobre e cal virgem, com reconhecida ação antimicrobiana. O seu uso é permitido na agricultura orgânica porque os seus componentes são pouco tóxicos, além de contribuir para o equilíbrio nutricional das plantas, fornecendo cálcio e cobre (16). Neste sentido, destaca-se que a calda bordalesa é um produto de origem orgânica onde se dá ao acesso para utilizar em métodos de conservação de pós-colheita das frutas e verduras para prolongar a vida de prateleiras dos produtos (17).

Logo, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes concentrações de calda bordalesa e óleo de alecrim na conservação e qualidade pós-colheita da manga ‘Tommy Atkins’ produzida no manejo orgânico de produção.

MATERIAL E MÉTODOS

Local de coleta e de análises

As mangas utilizadas foram da variedade “Tommy Atkins”, e foram adquiridas de um plantio comercial localizado na cidade de Santa Teresinha - PB. O estudo foi realizado em parceria com o Laboratório de processamento e qualidade de produtos de origem vegetal (LaProve), da Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos da UFCG, Campina Grande - PB.

Os frutos utilizados no experimento foram selecionados em duas etapas (campo e laboratório), quanto ao tamanho, coloração, ausência de danos mecânicos ou sintomas de doenças. Posteriormente, foram lavados em água corrente e sanitizados em solução de hipoclorito de sódio (100 ppm de cloro ativo) por 10 minutos. Em seguida, foram enxaguados em água corrente e secos ao ar.

Preparo dos tratamentos

O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial do tipo 3x2, sendo três concentrações de calda bordalesa (0%, 0,5% e 1%) e duas concentrações óleo de alecrim (0%, 0,5%), que constituíram os tratamentos (T), com 3 repetições, sendo cada repetição representada por dois frutos, conforme detalhado abaixo:

T1: 0% de calda bordalesa e 0% do óleo de alecrim;

T2: 0,5 % de calda bordalesa, 0% do óleo de alecrim;

T3: 0,5 % de calda bordalesa e 0,5 ml/L do óleo de alecrim;

T4: 1,0% de calda bordalesa e 0% do óleo de alecrim;

T5: 1,0 % de calda bordalesa e 0,5 ml/L do óleo de alecrim;

T6: 0,0% calda bordalesa e 0,5 ml/L do óleo de alecrim.

A calda bordalesa foi preparada pela adição da solução de sulfato de cobre previamente diluída, em solução de hidróxido de cálcio sob agitação até atingir o pH neutro. As soluções foram preparadas pela adição dos componentes de cada tratamento (T). Adicionou-se também Tween 80 para promover a emulsificação do óleo na solução e melhorar a adesão à casca do fruto.

A aplicação dos tratamentos (T) ocorreu por imersão completa dos frutos por 30 segundos. Após a imersão, os frutos foram dispostos em grades (Figura 1) para escorrer o excesso do produto e, após secagem ao ar, foram mantidos em bancada por 9 dias a 24±3 °C e 50±5% UR, sendo posteriormente analisados quanto à qualidade.

Figura 1 – Mangas ‘Tommy Atkins’ após imersão na solução contendo os tratamentos.

Fonte: Autores, 2025

Caracterização dos frutos

Para a realização das análises físico-química, os frutos foram descascados e a polpa foi obtida através do processamento em centrífuga doméstica (Mondial, Turbo Juicer, Barueri, Brasil). As análises realizadas incluíram:

A. Perda de massa fresca: A perda de massa fresca foi expressa em porcentagem (%), calculada pela diferença entre o peso inicial do fruto e o obtido ao término do armazenamento.
B. Firmeza do fruto: foi determinada com o auxílio de Penetrômetro digital, (Instrutherm, modelo PTR-300, São Paulo, Brasil), acoplado a ponteira de 8 mm. Foram realizadas duas leituras na região equatorial do fruto, após a remoção da casca com lâmina de 3 mm, (18). Os resultados foram expressos em Newton (N).
C. Sólidos solúveis (SS): foi determinada por leitura direta da polpa homogeneizada em refratômetro digital marca Digital Refractometer (18).
D. Acidez titulável (AT): conforme o Instituto Adolfo Lutz (19), determinou-se por titulação de 3 mL de polpa, sob agitação constante, com solução de hidróxido de sódio NaOH padronizados a 0,1M, até mudança de coloração (rosa-claro), sendo os resultados expressos em % de ácido cítrico.
E. Relação sólidos solúveis e acidez titulável (SS/AT): calculou-se o quociente entre as duas variáveis.
F. Potencial hidrogeniônico (pH): conforme o Instituto Adolfo Lutz (19), utilizou-se o pHmetro digital de bancada (Digimed DM-22, São Paulo, Brasil) para realizar a leitura direta na polpa homogeneizada.
G. Ácido ascórbico (AA): foi determinada através de titulação de 5 mL de polpa diluída com 45 mL de ácido oxálico, procedendo à titulação, sob agitação constante, com solução de DFI, conforme o método de Tillmans (18). Os resultados foram expressos em % de ácido ascórbico.
H. Colorimetria: As amostras foram analisadas por reflectância com um colorímetro digital Tft Color Display Calibre de 4mm, definindo um espaço cromático tridimensional com três eixos, em coordenadas retangulares (L*a*b). O valor L nos fornece a luminosidade, variando do branco (L=100) ao preto (L=0), o valor de a* caracteriza coloração na região do vermelho (+a*) ao verde (-a*), o valor b* indica coloração no intervalo do amarelo (+b*) ao azul (-b*) (20). A partir dos valores L*, a*, b*, foram calculados o ângulo Hue (ºh) (equação 1) e o índice de saturação croma (C*) (equação 2) conforme Pinheiro (21):

$$°h \quad = GRAUS\left(ATAN\left(\frac{b^*}{a^*}\right) * (-1)\right) + 90 \quad (1)$$

$$C^* = \left(a^{*2} + b^{*2}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Foram analisadas a cor da casca e a cor da polpa, realizando duas leituras por amostra, uma no ponto central e outra em um ponto aleatório.

Análise estatística

A análise estatística foi realizada empregando-se análise de variância (teste F) ao nível de 5% de probabilidade, e, para o efeito significativo, as médias foram comparadas pelo teste de média de Tukey a 5%, utilizando-se o software SISVAR, versão 5.6 (22).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta o quadro resumo da análise de variância (ANOVA), considerando os diferentes tratamentos aplicados em mangas 'Tommy Atkins'.

Tabela 1 - Resumo do quadro de resultado da análise de variância (ANOVA) para sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação (SS/AT), potencial hidrogeniônico (pH), ácido ascórbico (AA), firmeza (FIR) e perda de massa fresca (PMF) de mangas 'Tommy Atkins' tratadas com diferentes proporções de Calda Bordalesa (C) e Óleo de Alecrim (O) ao longo de 9 dias de avaliação.

		Quadrado Médio						
FV	**GL**	**SS**	**AT**	**SS/AT**	**pH**	**AA**	**FIR**	**PMF**
C	**2**	$32,64^{**}$	$586,50^{*}$	$0,01^{ns}$	$11,04^{**}$	$30,14^{*}$	$318,32^{ns}$	$3,40^{ns}$
O	**1**	$15,84^{*}$	$7386,09^{**}$	$0,13^{**}$	$0,55^{ns}$	$17,94^{ns}$	$777,02^{*}$	$30,64^{*}$
C x O	**2**	$3,73^{ns}$	$147,59^{ns}$	$0,01^{*}$	$2,35^{**}$	$55,85^{**}$	$70,84^{ns}$	$1,45^{ns}$
Erro	**18**	3,08	155,77	0,002	0,20	4,99	132,38	4,17
CV(%)		12,41	21,85	19,77	10,19	16,96	28,26	13,66
MG		14,14	57,11	0,23	4,44	13,17	40,71	14,95

** significativo a 1%;* significativo a 5%; ns não significativo a 5%; CV - coeficiente de variação; MG - média geral.

Fonte: Autores, 2025

Observa-se (Tabela 1) que as variáveis de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), firmeza (FIR) e perda de massa fresca (PMF) não apresentaram efeito significativo para interação entre os fatores calda bordalesa e óleo de alecrim ao nível de 5% de probabilidade, ou seja, a interação entre os tratamentos testados não influenciaram significativamente quanto a esta característica nos frutos. Para as demais variáveis analisadas, observou-se que os tratamentos testados foram significativos em mangas 'Tommy Atkins'.

As Tabela 2 e 3 apresentam os resultados obtidos das análises físicas e físico-químicas realizadas ao final dos 9 dias de armazenamento, considerando os diferentes tratamentos aplicados em mangas 'Tommy Atkins'.

Tabela 2 – Sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação (SS/AT) e potencial hidrogeniônico (pH) de mangas 'Tommy Atkins' tratadas com diferentes proporções de Calda Bordalesa e Óleo de Alecrim.

Calda Bordalesa	**SS**		**AT**		**SS/AT**		**pH**	
	Óleo de Alecrim							
	0%	**0,5%**	**0%**	**0,5%**	**0%**	**0,5%**	**0%**	**0,5%**
0%	$14,00^{a}$ A	$13,07^{a}$ A	$40,00^{aB}$	$65,35^{a}$ A	$0,24^{bA}$	$0,18^{aA}$	$3,77^{bB}$	$5,20^{aA}$

0,5%	18,00^{b} A	14,80^{a} B	47,83^{aB}	86,15^{a} A	0,32^{aA}	0,14^{aB}	3,61^{bA}	2,88^{bB}
1%	12,87^{a} A	12,12^{a} A	30,89^{aB}	72,48^{a} A	0,37^{aA}	0,17^{aB}	5,48^{aA}	5,70^{aA}

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e letra maiuscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Fonte: Autores, 2025

Tabela 3 – Ácido ascórbico (AA), firmeza (FIR) e perda de massa fresca (PMF) de mangas 'Tommy Atkins' tratadas com diferentes proporções de Calda Bordalesa e Óleo de Alecrim.

Calda Bordalesa	**AA**		**FIR**		**PMF**	
	Óleo de Alecrim					
	0%	**0,5%**	**0%**	**0,5%**	**0%**	**0,5%**
0%	15,46^{aA}	14,66^{aA}	28,32^{aA}	42,59^{a} A	15,86^{aA}	13,14^{aA}
0,5%	9,38^{bB}	17,19^{aA}	45,44^{aA}	49,97^{a} A	17,09^{aA}	14,31^{aA}
1%	12,09^{ab} A	10,27^{bA}	31,31^{aA}	46,64^{a} A	15,30^{aA}	14,03^{aA}

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e letra maiuscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Fonte: Autores, 2025

A quantidade de sólidos solúveis normalmente aumenta com o amadurecimento dos frutos por meio de processos de degradação de polissacarídeos ou biossíntese (23). No presente estudo, observou-se (Tabela 2) que, na ausência de óleo de alecrim, verificou-se diferença estatística significativa ao nível de 5% de probabilidade, e o menor valor de sólidos solúveis se apresentou na concentração de 1% de calda bordalesa. Por outro lado, na presença de 0,5% de óleo de alecrim, não houve diferença estatística entre os tratamentos. Nesse caso, os frutos apresentaram baixos valores de sólidos solúveis, sugerindo que esses frutos podem estar em estágios de maturação menos avançados.

Observa-se também que, para a ausência de calda bordalesa na solução de tratamento, não houve diferença estatística significativa. Por outro lado, quando a calda bordalesa (0,5%) foi utilizada, houve diferença significativa entre os tratamentos, na qual o maior valor se apresentou na ausência do óleo. De acordo com estudos (24), mangas do tipo 'Tommy Atkins' que estão prontas para o consumo costumam apresentar valor médio de Brix 12, sendo os valores encontrados no presente estudo próximos ou até superiores a essa média.

Houve oscilações nos teores de acidez titulável, e essas diferenças foram notadas entre os frutos controle e os que receberam os tratamentos. Verificou-se que na ausência do óleo de alecrim, não há diferença estatística entre os tratamentos com ou sem a calda bordalesa. Neste caso, os frutos contendo calda bordalesa (0,5%) apresentaram os maiores valores de acidez. E na presença do óleo de alecrim, o

comportamento é semelhante, para todas as concentrações de calda bordalesa não há diferença estatística entre si, e o maior valor para acidez se encontra na concentração 0,5% de calda.

Durante a pós-colheita, a redução dos ácidos orgânicos nas frutas contribuem para a qualidade do sabor das frutas (25). Essa diminuição da acidez é um aspecto bastante desejável na maioria dos frutos à medida que amadurecem (26). No presente estudo, verificou-se que o uso de óleo de alecrim (0% e 0,5%) apresentaram diferenças estatísticas entre si independente da concentração de calda bordalesa nos frutos, além de contribuir para maiores teores de acidez titulável.

Para a relação SS/AT, na ausência de óleo de alecrim, o menor valor para esse parâmetro se apresentou nos frutos controle, diferindo estatisticamente das demais concentrações de calda bordalesa (0,5% e 1%). Tal resultado sugere que a presença de calda bordalesa gera frutas mais doces e menos ácidas, consequentemente, mais maduras. Além disso, na ausência de calda bordalesa, não houve diferença estatística entre os frutos com ou sem óleo de alecrim. Esse resultado sugere que os frutos tratados apenas com a calda bordalesa apresentaram maior avanço no estádio de maturação. Sendo assim, maiores valores nos teores de sólidos solúveis e menores valores de acidez titulável promoveram o aumento na relação SS/AT indicando maior doçura dos frutos de manga.

Em contraste, a presença do óleo de alecrim (0,5%) resultou em frutos com menores valores para a relação SS/AT, independente das concentrações utilizadas de calda bordalesa. Quando comparada aos frutos sem a aplicação do óleo nas concentrações de 0,5% e 1% de calda bordalesa, houve diferença estatística entre os frutos. Isso sugere que o óleo de alecrim pode desempenhar um papel na conservação de frutos, promovendo frutos mais ácidos e com estádio de maturação menos avançado.

Os resultados de pH corroboram os achados da relação SS/AT , indicando a acidez dos frutos sob diferentes tratamentos. O menor valor de pH foi observado na presença do óleo de alecrim e da calda bordalesa a 0,5%, o que reforça a constatação de frutos mais ácidos já observada pela relação SS/AT para os respectivos frutos. Por outro lado, os valores de pH apresentaram diferenças estatísticas significativas entre as concentrações de calda bordalesa, independentemente da presença de óleo de alecrim. Na maior concentração de calda (1%), em comparação ao controle, observou-se maiores valores de pH para os frutos com ou sem óleo, indicando uma menor acidez nesses frutos.

O presente estudo (Tabela 3) verificou que, na ausência de óleo de alecrim, as maiores concentrações de vitamina C foram observadas nos frutos controle e com calda bordalesa a 1%, diferindo significativamente da concentração de 0,5%, que apresentou menor valor para esse parâmetro. No entanto, observa-se uma mudança de comportamento na presença do óleo de alecrim (0,5%), na qual os maiores valores de vitamina C estão presentes nos frutos tratados com calda bordalesa (0,5%). Além disso, observa-se que, apenas na concentração 0,5% de calda bordalesa, houve diferença significativa entre os frutos com e sem o óleo de alecrim na solução de tratamento.

É comum que no período pós-colheita e durante o armazenamento as frutas apresentem uma redução no teor de vitamina C ao longo do tempo. Por essa razão, frutas em estágios menos avançados de maturação geralmente contêm mais vitamina C do que aquelas maduras ou próximas da senescência (27). Dessa forma, a melhor concentração de vitamina C, quando associado ao óleo de alecrim, foi obtida com 0,5%

de calda bordalesa. Por outro lado, as maiores concentrações de calda e óleo impactaram em valores inferiores de vitamina C em relação ao controle.

Em relação à firmeza dos frutos de manga, não houve diferença estatística entre os diferentes tratamentos aplicados. Na ausência de óleo de alecrim, os frutos tratados com calda bordalesa (0,5% e 1%) apresentaram maiores resultados de firmeza do que o controle. Esse mesmo padrão foi observado na presença do óleo de alecrim (0,5%). Esse resultado sugere que o uso de calda bordalesa ou do óleo de alecrim parecem contribuir para a firmeza dos frutos. Estudos (28, 29) relataram que uma maior firmeza em frutos de manga é causada pelo uso de tratamento pós-colheita. Sendo tais resultados consistentes com este estudo, na qual a firmeza foi maior do que o controle nos frutos com os tratamentos.

A perda de massa é um processo natural do processo de armazenamento de frutas e hortaliças, sendo resultado da perda de água decorrente da transpiração dos frutos (30). No presente estudo, não houve diferença estatística ao nível de 5% de probabilidade para os diferentes tratamentos aplicados nos frutos. Esse resultado sugere que os tratamentos utilizados não formaram uma barreira suficientemente eficaz para restringir a transpiração, permitindo que os frutos continuassem a perder água para o meio ambiente de forma semelhante entre os tratamentos. Assim, apesar da aplicação das diferentes soluções de tratamentos, o processo natural de perda de massa por transpiração não foi significativamente reduzido. Encontrou-se resultados semelhantes em estudos (31) com o uso de tratamentos à base de fécula de mandioca e quitosana em mangas da variedade rosa.

A maior perda de massa foi observada em frutos sem óleo de alecrim e tratados com 0,5% de calda bordalesa. Esse achado está em concordância com o teor de sólidos solúveis para os frutos com esse tratamento, pois com a perda de massa, o teor de sólidos solúveis fica mais concentrado (31).

Na Figura 2 é visualizado os tratamentos (T1 a T6) aplicados em mangas ‘Tommy Atkins’ ao final do experimento, com duração de armazenamento de 9 dias. Tons de vermelho e verde são as cores predominantes da manga ‘Tommy Atkins’. A mudança de cor na manga ocorre devido à degradação dos pigmentos verdes e à síntese de novos pigmentos amarelos e vermelhos. Essas reações são algumas das principais modificações que ocorrem na manga durante a maturação (30).

Figura 2 – Mangas ‘Tommy Atkins’ com tratamentos após 9 dias de armazenamento.

Fonte: Autores, 2025

A Tabela 4 apresenta o quadro resumo da análise de variância (ANOVA) para os parâmetros de cor, considerando os diferentes tratamentos aplicados em mangas ‘Tommy Atkins’.

Tabela 4 - Resumo do quadro de resultado da análise de variância (ANOVA) para luminosidade da polpa (LP), croma da polpa (CP), ângulo Hue da polpa (HP), luminosidade da casca (LC), croma da casca (CC), ângulo Hue da casca (HC) de mangas ‘Tommy Atkins’ tratados com diferentes proporções de Calda Bordalesa (C) e Óleo de Alecrim (O) ao longo de 9 dias de avaliação.

		Quadrado Médio					
FV	**GL**	**LP**	**CP**	**HP**	**LC**	**CC**	**HC**
C	**2**	$8,25^{ns}$	$26,86^{ns}$	$164,66^{ns}$	$11,63^{ns}$	$41,49^{ns}$	$4989,00^{**}$
O	**1**	$45,84^{ns}$	$24,82^{ns}$	$7922,84^{**}$	$223,07^{*}$	$95,44^{*}$	$1199,92^{ns}$
C x O	**2**	$7,97^{ns}$	$8,63^{ns}$	$143,30^{ns}$	$2,28^{ns}$	$5,11^{ns}$	$1390,63^{*}$
Erro	**18**	15,39	12,03	627,67	24,02	18,01	344,93
CV(%)		5,38	5,98	24,14	8,52	11,07	15,89
MG		72,91	58,02	103,80	57,53	38,32	116,88

** significativo a 1%;* significativo a 5%; ns não significativo a 5%; CV - coeficiente de variação; MG - média geral.

Fonte: Autores, 2025

De acordo com a Tabela 4, apenas o ângulo Hue da casca (HC) apresentou resultado significativo para interação entre a calda bordalesa e o óleo de alecrim ao nível de 5% de probabilidade. Ou seja, para os demais parâmetros de cor, a interação entre os tratamentos testados não influenciaram significativamente quanto a estas características nos frutos de manga ‘Tommy Atkins’. O teste de médias aplicado aos parâmetros de cor da casca (Tabela 5) revelou que apenas a luminosidade da casca (LC) não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos avaliados, ao nível de 5% pelo Teste de Tukey.

Tabela 5 – Luminosidade da casca (LC), croma da casca (CC), ângulo Hue da casca (HC) de mangas ‘Tommy Atkins’ tratados com diferentes proporções de Calda Bordalesa e Óleo de Alecrim.

	LC	**CC**	**HC**
		Óleo de Alecrim	

Calda Bordalesa	0%	0,5%	0%	0,5%	0%	0,5%
0%	61,97^{a} A	55,72^{aA}	42,36^{aA}	39,44^{a} A	95,68^{aA}	80,43^{bA}
0,5%	60,82^{a} A	53,74^{aA}	38,18^{aA}	34,96^{a} A	120,74^{a} A	142,71^{a} A
1%	58,95^{a} A	53,99^{aA}	40,42^{aA}	34,59^{a} A	113,03^{a} B	148,74^{a} A

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e letra maiuscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$).

Fonte: Autores, 2025

Para o componente colorimétrico luminosidade da casca (LC), não houve diferença estatística entre os tratamentos aplicados nos frutos e o controle. Os valores variaram de 53,74 (T3) a 61,97 (controle), sendo que os valores mais altos indicam maior refração de luz e, portanto, frutos mais claros (32, 33).

Com relação ao croma da casca (CC), que reflete a intensidade da cor, também não houve diferença estatística entre os tratamentos aplicados nos frutos e o controle. O tratamento controle apresentou maior média de croma de 42,36, indicando que esses frutos apresentaram cores mais vívidas e elevação da saturação. Esses resultados estão de acordo com o estudo (34) com tratamentos à base de pectina associados a ceras vegetais em mangas, que também verificaram que o croma apresentou valores mais elevados no tratamento controle, apesar de diferir estatisticamente dos demais tratamentos.

Durante o armazenamento de mangas é normal que haja o decréscimo na cor verde para a cor amarelo, em decorrência da degradação da clorofila e o surgimento de outros pigmentos (35). A análise dos resultados revela que, na ausência do óleo de alecrim, não há diferença estatística para as diferentes concentrações de calda bordalesa. No entanto, a adição do óleo de alecrim (0,5%) mostra diferença estatística entre os tratamentos com e sem calda bordalesa.

Já na ausência da calda bordalesa, verificou-se menores valores para o ângulo Hue, independente das concentrações do óleo de alecrim. Isso indica uma coloração mais amarelada (Figura 2.T1 e T2), sugerindo um estado de maturação mais avançado, sem diferenças estatísticas entre si para essa condição. Por outro lado, na concentração máxima de calda bordalesa (1%), observou-se uma diferença estatística entre os tratamentos dos frutos com ou sem óleo de alecrim. Nesse caso, a combinação do óleo de alecrim (0,5%) com a calda bordalesa resultou no maior valor para o ângulo Hue.

CONCLUSÕES

Os tratamentos com calda bordalesa e óleo de alecrim influenciaram significativamente a qualidade pós-colheita da manga “Tommy Atkins”. A calda bordalesa contribuiu para a manutenção da firmeza, equilíbrio SS/AT e menor pH, indicando maturação mais lenta. O óleo de alecrim teve efeito positivo na preservação da vitamina C e do pH. Parâmetros de cor permaneceram estáveis, com leve tendência de retardamento da maturação pelo ângulo Hue. Assim, conclui-se que a combinação

do óleo de alecrim e a calda bordalesa promoveu uma redução no amadurecimento dos frutos, representando uma estratégia promissora para prolongar a conservação pós-colheita de mangas.

AGRADECIMENTOS

À Fazenda Tamanduá pela parceria e concessão dos frutos.

REFERÊNCIAS

1. SILVA, T. B. et al. Revestimentos alternativos na conservação pós-colheita de manga: um estudo de revisão. **Ciência das Plantas: Desafios e Potencialidades em Pesquisa,** v. 2, n. 1, p. 133–156, 2023.

2. DE OLIVEIRA, J. R. et al. Efeito da densidade de inóculo, temperatura, período de molhamento sobre o desenvolvimento de lesões e controle alternativo de antracnose e podridão peduncular de manga Tommy Atkins. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research,** v. 5, n. 4, p. 4410-4428, 2022.

3. ARAÚJO, D. O. et al. Fatores determinantes na mudança do padrão de produção e consumo da manga no mercado nacional. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 10, ed. esp., p. 51-73, 2017.

4. RETT, D. M.; GONZALEZ, M. A. Uma análise da exportação de manga do Vale do Rio São Francisco, comparando os modais aéreo e marítimo. Anais do **XII FATECLOG – Gestão da cadeia de suprimentos no agronegócio: desafios e oportunidades no contexto atual**. Mogi das Cruzes: FATEC Mogi das Cruzes, 2021. ISSN 2357-9684.

5. COELHO, B. E. S. et al. Desenvolvimento e avaliação físico-química de sorvete de manga 'Tommy Atkins' à base de leite de cabra. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 9, n. 4, p. 41-47, 2019.

6. DA SILVA, S. P.; ARAGÃO, T. P.; MENDES, M. L. M. Películas de amido na conservação pós-colheita da manga Tommy: uma revisão da última década. **Brazilian Journal of Food Research**, v. 13, n. 1, p. 15-31, 2022.

7. FISCHER, I. H. et al. Doenças pós-colheita em variedades de manga cultivadas em Pindorama, São Paulo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 2, 2009.

8. BARBOZA, H. T. G. et al. Edible films and coatings: concept, application, and use in post-harvested fruits and vegetables. **Research, Society and Development,** v. 11, n. 9, p. e9911931418, 2022.

9. OLIVEIRA, V. R. L. de. **Avaliação da incorporação de cera de abelha na hidrofobização de filmes biopoliméricos e seu efeito como cobertura na conservação pós-colheita da goiaba.** 2017. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2017.

10. PANDYA, Y.; SHARMA, A.; BAKSHI, M. Edible coatings in fruits: effectiveness and applicability: a review. **FoodSci: Indian Journal of Research in Food Science and Nutrition,** v. 10, n. 1, p. 1-10, 2023.

11. SILVA, G. L. et al. Efficiency of a coating based on cassava starch and encapsulated essential oil in postharvest storage of 'Palmer' mango. **Scientia Horticulturae**, v. 334, 2024.

12. SANTOS, N. C. **Relatório de estágio curricular do curso superior de bacharelado em Agronomia.** São Miguel do Oeste, SC, 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus São Miguel do Oeste.

13. LEE, L. T. et al. Fungi toxicity and chemical composition of rosemary essential oil (Rosmarinus officinalis) on Aspergillus flavus. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. e202985628, 2020.

14. ALMEIDA, J. C.; ALMEIDA, P. P.; GHERARDI, S. R. M. Potencial antimicrobiano de óleos essenciais: uma revisão de literatura de 2005 a 2018. **Nutrition Time,** v. 17, n. 1, p. 8623-8633, 2020.

15. MECCATTI, V. M. et al. Rosmarinus officinalis L. (rosemary) extract has antibiofilm effect similar to the antifungal nystatin on Candida samples. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, p. 1-15, 2021.

16. LURKIV, L. et al. Biotic and abiotic resistance inducers for controlling white rust in rocket (Eruca sativa). **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 87, p. 1-8, 2020.

17. MENDES, A. B.; KRUPEK, R. A. Conhecimento empírico e científico: correlação nos processos de biofertilização utilizados na agricultura orgânica familiar. **Luminária**, v. 23, n. 1, p. 49-71, 2021.

18. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 19. ed. Gaithersburg, Maryland: AOAC, 2012.

19. INSTITUTO ADOLFO LUTZ – IAL. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: IAL, 2008.

20. FERREIRA, V. L. P. **Princípios e aplicações da colorimetria em alimentos**. Campinas: ITAL, 1981. (Instruções Técnicas, 85).

21.PINHEIRO, J. M. S. **Tecnologia pós-colheita para a conservação de bananas da cultivar tropical**. 59f. 2009. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Montes Claros, Minas Gerais.

22. FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. *Ciência e* **Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

23. BASSETTO, E.; JACOMINO, A. P.; PINHEIRO, A. L. Conservation of 'Pedro Sato' guavas under treatment with 1-methylcyclopropene. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 5, p. 433-440, 2005.

24. AHOUANGBONOU, O. R. K.; NEVES, L. T. B. C.; DE LIMA COUTINHO, O. Post-harvest quality in the 'Tommy Atkins' mango for different harvest times. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 11, n. 4, 2024.

25. PAIVA, A. et al. **Chilling e Freezing - Injúrias causadas por baixas temperaturas em frutas tropicais**. São Paulo: Universidade de São Paulo, Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas – SBRT, 2011. (Dossiê técnico).

26. SANTOS, B. C. et al. Recobrimento comestível a base de palma e óleo essencial de alecrim na qualidade pós-colheita de mangas ‘Tommy Atkins’. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v. 11, n. 2, p. 901-909, 2021.

27. ALVES, J. A. et al. Cinética de degradação de vitamina C em mangas 'Palmer' minimamente processadas armazenadas em diferentes temperaturas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 3, p. 714–721, 2010.

28. SILVA, G. M. C. et al. The chitosan affects severely the carbon metabolism in mango (Mangifera indica L. cv. Palmer) fruit during storage. **Food Chemistry,** v. 237, p. 372–378, 2017.

29. PLÁCIDO, G. R. et al. Desenvolvimento de filme e revestimento à base de pectina do pequi incorporado de nanopartículas de ZnO e aplicação em pós-colheita de manga. 2021. (s.l.: s.n.).

30. CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005.

31. SILVA, T. B. et al. Revestimentos alternativos na conservação pós-colheita de manga: um estudo de revisão. **Ciência das Plantas**, v. 2, n. 1, p. 133–156, 2023.

32. COSTA, Josenara Daiane de Souza et al. Parâmetros de maturação da manga cv.‘Tommy atkins’e a qualidade dos frutos armazenados sob atmosfera modificada passiva. 2022.

33. MOURA, E. V. **Cobertura comestível com proteína isolada de soja em características físico-químicas de manga minimamente processada**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2021.

34. SILVA, A. C. S. et al. Conservação pós-colheita de mangas pelo uso de revestimentos à base de pectina e carboximetilcelulose associados a ceras vegetais. 2023.

35. VIANA, A. C.; AIRES, T. L. S.; CLEMINTINO, L. S. Cera de carnaúba incorporada com a argila caulim para conservação de manga (Mangifera indica L.). **Revista Semiárido De Visu**, v. 10, n. 2, 2022.

DESENVOLVIMENTO DE BISCOITO SEM GLÚTEN ENRIQUECIDO COM ORA-PRO-*NOBIS (PERESKIA ACULEATA): FONTE DE PROTEINA*

DEVELOPMENT OF GLUTEN-FREE BISCUITS ENRICHED WITH ORA-PRO-NOBIS (PERESKIA ACULEATA): PROTEIN SOURCE

DOI: 10.65747/conali2025v3c08

Maria Laureana Aparecida Silva do Nascimento[1]; Jose Igor Pereira da Silva[2]; Maria Larissa Gomes Rodrigues[3]; Daniele Maria Alves Teixeira Sa[4]; Mirla Dayanny Pinto Farias[5]; Francisca Joyce Elmiro Timbó Andrade[6]

[1]Estudante do Curso de Tecnologia em Alimentos – Instituto Federal do Ceará - IFCE-campus Sobral; E-mail: maria.laureana.aparecida61@aluno.ifce.edu.br

[2]Estudante do Curso de Tecnologia em Alimentos – IFCE-campus Sobral; E-mail: jose.igor.pereira61@aluno.ifce.edu.br

[3]Estudante do Curso de Tecnologia em Alimentos – IFCE-campus Sobral; E-mail: maria.larissa.gomes08@aluno.ifce.edu.br

[4]Docente/pesquisadora do Eixo de Produção Alimentícia – IFCE – campus Sobral; E-mail: danielemaria@ifce.edu.br

[5]Docente/pesquisadora do Eixo de Produção Alimentícia – IFCE – campus Sobral; E-mail: mirla@ifce.edu.br

[6]Docente/pesquisadora do Eixo de Produção Alimentícia – IFCE – campus Sobral; E-mail: joyce@ifce.edu.br

Resumo: Produtos sem glúten e que reproduzam as características sensoriais agradáveis aos consumidores, que sejam nutritivos e sem comprometer o sabor e a textura dos alimentos, vêm sendo um desafio para a indústria alimentícia. A ora-pro-nóbis *(Pereskia aculeata)*, é uma planta de fácil cultivo e altamente nutritiva, podendo ser uma alternativa acessível e sustentável para melhorar a alimentação e valorizar as Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANCs). O objetivo deste trabalho foi desenvolver e caracterizar biscoito sem glúten enriquecido com ora-pro-nóbis (OPN). Foram desenvolvidas três formulações de biscoitos com 1,5%, 2,5% e 3,5% de OPN. As análises realizadas foram umidade, pH, cinzas, proteína, cor, bem como, avaliação sensorial. A adição de OPN não interferiu no teor de cinzas e umidade dos biscoitos ($p > 0,05$). No entanto, o aumento dos percentuais, elevou também os níveis de proteínas dos biscoitos, que variou entre 9,36% e 11,36% nas formulações com 1,5% e 3,5% de OPN, respectivamente. Para a análise de pH, a amostra com maior percentual de ora-pro-nobis (3,5%) diferiu significativamente das demais. O aumento na concentração de OPN resultou em biscoitos visualmente mais escuros (*L), na análise de cor. A avaliação sensorial revelou que a formulação com 1,5% de OPN obteve maior aceitação em todos os atributos, com médias significativamente superior ($p < 0,05$), especialmente em relação à amostra com 3,5%. Conclui-se que o biscoito enriquecido com ora-pro-nóbis

elevou o teor protéico dos biscoitos, sendo considerado como rico em proteínas e pode ser uma alternativa para pessoas que buscam alimentação saudável e nutritiva.

Palavras-chave: celíaco; panc´s*;* panificação; proteico

Abstract: Gluten-free products that reproduce consumer-pleasing sensory characteristics, while also being nutritious and without compromising flavor and texture, have been a challenge for the food industry. Ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata*) is an easy-to-grow, highly nutritious plant that could be an affordable and sustainable alternative to improve nutrition and enhance the value of Non-Conventional Edible Plants (NCFPs). The objective of this study was to develop and characterize gluten-free cookies enriched with ora-pro-nóbis (OPN). Three cookie formulations were developed with 1.5%, 2.5%, and 3.5% OPN. Analyses included moisture, pH, ash, protein, color, and sensory evaluation. The addition of OPN did not affect the ash and moisture content of the cookies ($p > 0.05$). However, increasing the percentages also increased the protein levels of the cookies, which varied between 9.36% and 11.36% in the formulations with 1.5% and 3.5% OPN, respectively. In the pH analysis, the sample with the highest percentage of ora-pro-nobis (3.5%) differed significantly from the others. The increase in OPN concentration resulted in visually darker cookies (*L) in the color analysis. Sensory evaluation revealed that the formulation with 1.5% OPN obtained greater acceptance across all attributes, with significantly higher averages ($p < 0.05$), especially compared to the sample with 3.5%. It is concluded that the ora-pro-nobis-enriched cookie increased the protein content of the cookies, being considered rich in protein and may be an alternative for people seeking a healthy and nutritious diet.

Keywords: bakery; celiac; panc's; protein

INTRODUÇÃO

Glúten é o conjunto de proteínas encontradas nos cereais de trigo, cevada e centeio. No entanto, o glúten pode ser encontrado também em outros cereais e farinhas, devido a contaminação cruzada, que pode ocorrer durante a colheita, transporte e armazenamento. As características de ligação com a água, viscosidade e elasticidade dos produtos de panificação produzidos com farinha de trigo, fazem parte das propriedades tecnológicas do glúten, o que justifica o seu extenso uso, e agrega a uma extensa variedade de produtos (1, 2).

A presença e o consumo de glúten em alguns alimentos podem desencadear diversas doenças em pessoas sensíveis a essa proteína. A doença celíaca (DC) é uma intolerância à ingestão do glúten, sendo uma enteropatia crônica, imunomediada, caracterizada por um processo inflamatório e que se desponta mediantes diferentes sintomas, em pessoas geneticamente suscetíveis (3).

Contudo, foram desenvolvidos alguns alimentos isentos de glúten para atender às pessoas que apresentam sensibilidade a essa rede de proteína. A maior dificuldade, do público-alvo na adesão ao tratamento, se dá pela sua reduzida oferta, pelo seu alto custo e pela baixa qualidade nutricional dos produtos (4).

O desenvolvimento de formulações de produtos sem glúten e que reproduzam as características sensoriais agradáveis aos consumidores, sem comprometer o sabor e a textura de muitos alimentos, vêm sendo um desafio para a indústria alimentícia. Além disso, garantir que o produto não terá contaminação cruzada, durante todo o processo de produção é essencial para atender aos padrões de qualidade e segurança dos alimentos.

Os produtos considerados funcionais ganharam espaço no mercado por atuar em um corpo humano como antioxidantes, anti-inflamatório, antidiabéticos, antitumoral e antiviral criando uma Barreira para possíveis irregularidades no organismo (5, 6).

A farinha de feijão fava (*Phaseolus lunatus L.*) rica em proteínas e fibras apresenta-se como ingrediente promissor para produtos de panificação, visto que o feijão fava é valorizado por seu perfil nutricional, incluindo o alto teor de aminoácidos essenciais, fibras dietéticas e minerais, como ferro e cálcio. Essas características nutricionais a tornam uma excelente base para o desenvolvimento de alimentos funcionais contribuindo para a diversificação e enriquecimento da dieta (7).

No contexto de redescoberta da alimentação natural e consciente, surge com força o interesse pelas Plantas Alimentícias Não Convencionais, conhecidas como PANCs. Essas plantas, muitas vezes esquecidas ou até mesmo desconhecidas pela maioria da população, representam uma rica fonte de nutrientes, sabores e saberes tradicionais. Estas representam uma alternativa nutritiva, sustentável e culturalmente rica para a alimentação humana. Embora pouco presentes no cardápio cotidiano, essas plantas, muitas vezes nativas, espontâneas ou pouco exploradas comercialmente oferecem alto valor nutricional e se adaptam bem aos ecossistemas locais, exigindo menos insumos químicos (8).

Dentro deste contexto de alimentação saudável, podemos citar a ora-pro-nóbis *(Pereskia aculeata)*, reconhecida por seu alto valor nutricional, essa planta tem se consolidado como uma excelente opção para o enriquecimento das dietas, especialmente por conter quantidades significativas de proteínas, fibras e minerais essenciais. Sua versatilidade e resistência tornam-na uma alternativa acessível e sustentável para promover uma alimentação mais saudável e diversificada, contribuindo também para a valorização das PANCs no contexto da segurança alimentar (9).

Formulações de panifícios unindo farinha de feijão fava com ora-pro-nobis pode resultar em um produto com elevado teor nutricional, além de proporcionar benefícios funcionais adicionais. A presença de fibras tanto do feijão quanto do ora-pro-nobis pode auxiliar na saúde digestiva enquanto os antioxidantes podem desempenhar um papel na redução do risco de doenças crônicas.

O olhar mais consciente da população para o consumo de proteínas, bem como o interesse por alternativas de qualidade de fontes proteicas na alimentação, é uma grande tendência do cenário atual. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi desenvolver biscoitos sem glúten enriquecido com ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata*), a avaliar as características físico-químicas e sensoriais.

MATERIAL E MÉTODOS

O feijão fava (*Phaseolus lunatus L.)* utilizado no experimento foi adquirido no mercado local do município de Sobral, localizado na região norte do estado do Ceará.

Os demais ingredientes utilizados na formulação dos biscoitos foram disponibilizados pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), campus Sobral.

Obtenção da farinha do feijão

Os grãos de feijão-fava passaram por uma pré-limpeza, sendo removidas impurezas e matérias estranhas, com posterior lavagem em água corrente. Em seguida, os grãos sofreram maceração, adicionando-se água potável na proporção de 1:5 em overnight, por um período de 12 horas em temperatura ambiente. Após a maceração, seguiram para o pré-cozimento em panela convencional sem tampa, na proporção de 2:1 (água:grãos), durante 25 minutos (contados a partir do início da ebulição). Após o pré-cozimento, os grãos foram secos em estufa com circulação de ar à temperatura de 60 °C até obter-se peso constante. Após completo resfriamento, os grãos foram moídos em moinhos tipo Willye – TE-650 (Tecnal, São Paulo/Brasil) obtendo-se a farinha com granulometria de 0.84 mm (20 *mesh*). Por fim, a farinha foi acondicionada em sacos de polietileno selados e armazenada sob refrigeração até seu uso.

Elaboração dos biscoitos

A formulação dos biscoitos foi composta pelos ingredientes descritos na Tabela 1. Inicialmente, os ingredientes secos: farinhas, açúcar, fermento químico, goma xantana e ora-pro-nóbis foram homogeneizados. Em seguida, foram adicionados os ingredientes úmidos, margarina e ovo, sendo a massa resultante misturada manualmente com as pontas dos dedos até atingir uma textura uniforme. Após a homogeneização, a massa foi aberta com rolo de polietileno, com a massa entre folhas de plástico próprias para uso alimentício, a fim de facilitar o manuseio.

Após a aberta, a etapa de moldagem, foi por meio de cortadores com formato retangular, obtendo-se biscoitos do tipo corte com peso aproximado de 3,5 g cada. Em seguida, os biscoitos foram assados em forno pré-aquecido a 160 °C por 13 minutos. Após o resfriamento à temperatura ambiente, os produtos foram acondicionados em embalagens plásticas apropriadas para uso alimentício, bem lacradas, conforme pode ser observado nas imagens 1, 2 e 3.

Tabela 1: Formulação dos biscoitos.

INGREDIENTES*	**F-1,5 (%)**	**F-2,5 (%)**	**F-3,5 (%)**
Farinha de arroz	37	37	37
Amido de milho	21	21	21
Feijão fava	21	21	21
Polvilho doce	13	13	13

Açúcar	37	37	37
Margarina	25	25	25
Ovos	28	28	28
Fermento	3	3	3
Goma xantana	1	1	1
Ora-pro-nóbis	1,5	2,5	3,5

*base no peso das farinhas (farinha de arroz, amido de milho, feijão fava e polvilho doce). F-1,5(%): 1,5% de ora-pro-nóbis, F-2,5(%): 2,5% de ora-pro-nóbis, F-3,5(%): 3,5% de ora-pro-nóbis

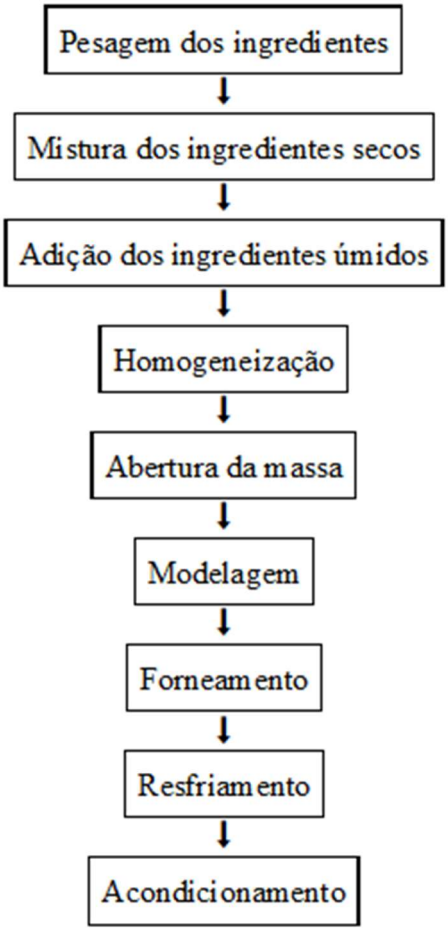


Figura 1: Fluxograma da produção dos biscoitos

Fonte: Autores, 2025.

Figura 2- Ingredientes para produção dos biscoitos

Fonte: Autores, 2025.

Figura 3- Biscoitos assados

Fonte: Autores, 2025.

Determinação das características físicas e físico-químicas

A determinação de umidade foi realizada segundo método descrito pelo Instituto Adolfo Lutz (10), em que se pesou de 2-5 g da amostra e seca-se em estufa a 105 °C de 8 a 24 horas. O valor é obtido pela diferença de peso entre a amostra úmida e amostra seca. Em seguida, com a amostra seca, adiciona-se 10ml de água destilada, agitou-se por 10 minutos em vortex e realiza-se a leitura do pH em potenciômetro digital.

A análise de cinzas foi realizada seguindo o mesmo manual, no qual pesa-se aproximadamente 5g de amostra em cadinhos de porcelana, os quais são deixados na mufla a 550°C por aproximadamente 1h e posteriormente são pesados. Os cadinhos contendo amostra são deixados na mufla a 550°C por 8 a 12h até completa carbonização, restando apenas as cinzas. Os cadinhos são então retirados e colocados em dessecadores para esfriar e, posteriormente, realizar a pesagem. A determinação de cinzas é feita por diferença (10).

A determinação de proteínas foi realizada pelo método de Micro Kjeldahl utilizando entre 20 e 50 mg de amostra, a qual é transferida para microtubos de Kjeldahl, adicionados de mistura catalítica (sulfato de sódio e sulfato de cobre pentahidratado) e 3 mL de ácido sulfúrico concentrado. Estes foram mantidos em bloco digestor a 400 °C até o líquido se tornar transparente e de tonalidade azul-esverdeada. Após esfriar, adicionou-se 3 mL de água destilada e 4 gotas de solução fenolftaleína 1%. No destilador, acoplou-se um erlenmeyer contendo 5 mL de ácido bórico 4% adicionado do indicador misto (vermelho de metila e verde de bromocresol). Em seguida adaptou-se o tubo de Kjeldahl ao destilador e adicionou-se a solução de hidróxido de sódio 40% até coloração da solução tornar-se rosa. Então, recebeu-se o destilado na solução de ácido bórico (até 75 mL), e realizou-se a titulação com ácido clorídrico padronizado 0,1 N até viragem.

Para análise de cor, as amostras foram transferidas ao colorímetro portátil (Colorium, Delta color, Brasil) já calibrado para avaliação da cor pelo sistema CIEL*a*b*. Os parâmetros avaliados são L*, a* e b*, onde o L* forneceu a luminosidade, variando de branco (L=100) ao preto (L=0), o a* pode indicar a coloração vermelha (+a*) ou verde (– a*) e o b* a coloração amarela (+b*) ou azul (– b*).

Avaliação sensorial

O teste de aceitação foi realizado com 120 provadores não treinados com faixa etária variando de 18 a 45 anos, entre alunos e servidores do IFCE-Sobral, selecionados com base sobre o interesse e hábitos de consumo de produtos de doces e confeitaria. Esta pesquisa foi previamente aprovada pelo comitê de ética com parecer nº 4.142.175.

As amostras foram servidas a 28 ± 2°C, em copos descartáveis e codificados com números aleatórios de três dígitos, em blocos completos aleatórios, em cabines individuais acompanhadas de um copo d'água, biscoito água e sal e da ficha de avaliação. Os avaliadores foram orientados a analisar as amostras quanto à impressão global, cor, aroma, sabor e textura utilizando a escala hedônica estruturada de 9 pontos, onde: 1=desgostei extremamente; 9=gostei extremamente (11).

.

Análises estatísticas

Os resultados foram expressos como média ± desvio padrão e submetidos à Análise de Variância (ANOVA) e Teste de comparações múltiplas de Tukey, adotando delineamento em blocos casualizados (DBC). A significância estatística foi definida em $p < 0,05$ (software Assistat versão 7.7, 2013; EUA)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A adição de ora-pro-nóbis não interferiu significativamente no teor de umidade e cinzas dos biscoitos ($p > 0,05$). Por outro lado, a análise de proteínas revelou diferença significativa entre todas as formulações ($p < 0,05$), e, quanto ao pH, a amostra com maior percentual de ora-pro-nóbis (3,5%) diferiu significativamente das demais (Tabela 2).

Tabela 2: Resultados físico-químico dos biscoitos enriquecidos com ora-pro-nóbis.

Amostra	Umidade (g/100g)	pH (g/100g)	Cinzas (g/100g)	Proteína (g/100g)
F-1,5%	7,63[a]	7,94[a]	31,69[a]	9,36[c]
F-2,5%	7,76[a]	7,95[a]	32,74[a]	11,1[b]
F-3,5%	7,84[a]	7,90[b]	34,29[a]	11,36[a]

F-1,5(%): 1,5% de ora-pro-nóbis, F-2,5(%): 2,5% de ora-pro-nóbis, F-3,5(%): 3,5% de ora-pro-nóbis. Letras sobrescritas iguais não diferem entre si estatisticamente ($p > 0,05$), na mesma coluna.

A ora-pro-nóbis destaca-se por seu elevado valor nutricional, apresentando teores proteicos que variam entre 25% e 35% em sua composição. Esse conteúdo expressivo de proteínas justifica as diferenças significativas observadas entre as formulações analisadas. A incorporação da ora-pro-nóbis, mesmo em sua forma desidratada, demonstra potencial para enriquecer produtos de panificação, promovendo o aumento do teor proteico e agregando valor funcional ao alimento, o que contribui para torná-lo mais saudável e atrativo do ponto de vista nutricional (12).

O teor de proteína nos biscoitos variou entre 9,36% e 11,36% nas formulações F-1,5% e F-3,5% respectivamente, devido a composição, às quais foram adicionados o ora-pro-nóbis. Segundo a Portaria nº 398, de 30 de abril de 1999 (13) e Resolução nº 54, de 12 de novembro de 2012 (14) da ANVISA, para afirmar que um produto possui funcionalidade devido ao enriquecimento proteico e usar alegação de fonte de proteínas, este alimento necessita conter no mínimo 6 gramas de proteína em uma porção de 100 gramas do alimento.

Além de apresentar elevado teor proteico, a ora-pro-nóbis é reconhecida por sua riqueza em minerais e aminoácidos essenciais. No entanto, mesmo com sua incorporação à formulação dos biscoitos, os resultados obtidos nas análises indicaram que esses minerais não influenciaram significativamente o teor de cinzas, conforme observado na comparação com os dados reportados por Cazagranda (15).

O pH dos biscoitos desta pesquisa apresentou caráter levemente alcalino em todas as formulações, com diferença estatística significativa apenas entre as amostras com 1,5% e 2,5% em relação à formulação com 3,5% de ora-pro-nóbis.

Esse resultado contrasta com pesquisa que verificou um pH mais ácido na composição da farinha de ora-pro-nóbis isoladamente (15). Tal divergência pode ser explicada pelo efeito dos demais ingredientes presentes na formulação dos biscoitos, especialmente o fermento químico.

O resultado da avaliação sensorial (tabela 3) demonstrou que as formulações F-1,5% e F2,5% tiveram melhor aceitabilidade e estatisticamente semelhantes nos parâmetros de impressão global, cor e aroma ($p > 0,05$). Em relação aos atributos de textura e sabor, todas as amostras apresentaram diferenças significativas entre si ($p < 0,05$). Constatando que a alta concentração do ora-pro-nóbis neste tipo de biscoito comprometeu a aceitação sensorial. No aspecto textura facilmente se explica pelo fato da maior concentração da planta, devido sua característica ser fibrosa, corroborando com a pesquisa sobre a avaliação do perfil fitoquímico e nutricional e da atividade antioxidante de folhas, frutos, flores e caules da ora-pro-nóbis (16).

Tabela 3: Análise sensorial das formulações dos biscoitos

Formulação	Impressão Global	Cor	Aroma	Textura	Sabor
F-1,5%	7,97[a]	7,89[a]	7,95[a]	8,09[a]	8,06[a]
F-2,5%	7,78[a]	7,65[a]	7,68[a]	7,72[b]	7,60[b]

F-3,5%	6,44[b]	6,32[b]	6,34[b]	6,27[c]	6,15[c]

F-1,5(%): 1,5% de ora-pro-nóbis, F-2,5(%): 2,5% de ora-pro-nóbis, F-3,5(%): 3,5% de ora-pro-nóbis. Letras sobrescritas iguais não diferem entre si estatisticamente (p > 0,05), na mesma coluna.

Dando ênfase ao parâmetro cor na avaliação sensorial, observa-se que a formulação F-3,5% apresentou resultado significativamente inferior às demais concentrações (p < 0,05). Esse resultado pode estar atribuído à coloração naturalmente esverdeada da ora-pro-nóbis, que se intensifica à medida que sua concentração na formulação aumenta, interferindo negativamente na aparência final do produto e, consequentemente, na sua aceitabilidade. A cor é um fator decisivo na escolha do consumidor, e alterações visuais fora do padrão esperado podem gerar rejeição imediata, mesmo antes da degustação.

Esse achado é consistente ao se observar também a redução significativa nas notas atribuídas ao atributo cor em pães enriquecidos com ora-pro-nóbis, especialmente em formulações com concentrações mais elevadas (17). Assim, os dados reforçam que, embora a ora-pro-nóbis seja nutricionalmente vantajosa, sua aplicação em alimentos deve considerar o impacto visual que o ingrediente causa, a fim de garantir boa aceitação sensorial.

Na Tabela 4, observa-se que a adição de OPN influenciou diretamente os resultados obtidos pelo sistema CIEL*a*b*. No parâmetro de luminosidade (*L**), constatou-se diferença estatística significativa entre as três amostras (p<0,05), evidenciando que o aumento na concentração da planta resultou em biscoitos visualmente mais escuros. Esse escurecimento pode ser atribuído à coloração naturalmente verde da ora-pro-nóbis, cuja intensidade se torna mais perceptível com o aumento da proporção adicionada à formulação.

Tabela 4: Cor dos biscoitos.

Amostra	*L**	*a**	*b**
F-1,5%	66,88[a]	6,68[a]	28,56[a]
F-2,5%	62,98[b]	6,29[b]	27,34[b]
F-3,5%	60,43[c]	6,30[b]	25,39[c]

F-1,5(%): 1,5% de ora-pro-nóbis, F-2,5(%): 2,5% de ora-pro-nóbis, F-3,5(%): 3,5% de ora-pro-nóbis. Letras sobrescritas iguais não diferem entre si estatisticamente (p > 0,05), na mesma coluna.

Ao avaliar o parâmetro *a**, que indica a tonalidade entre verde e vermelho, observa-se que a amostra F-1,5% apresentou o maior valor, sendo estatisticamente superior às demais. Esse resultado sugere que a maior adição da planta reduziu a intensidade da coloração avermelhada nos biscoitos. Já em relação ao parâmetro *b**,

que expressa a intensidade do tom amarelo, nota-se uma redução progressiva dos valores à medida que se aumenta a concentração de ora-pro-nóbis. Dessa forma, a formulação F-1,5% destacou-se por apresentar a maior intensidade de amarelo, sendo, portanto, a mais favorecida visualmente segundo este critério.

CONCLUSÕES

Conclui-se que a incorporação da ora-pro-nóbis nos biscoitos elevou seu teor proteico e teve boa aceitação sensorial, com nota referente a “gostei”, nas formulações F-1,5% e F-2,5%. No entanto, o uso em concentrações mais elevadas comprometeu a aceitação sensorial do produto, principalmente nos quesitos textura e sabor. Dessa forma, este estudo indica que os biscoitos elaborados com 1,5 e 2,5% ora-pro-nóbis, são ricos em proteína e pode ser uma alternativa para pessoas que buscam alimentação saudável e nutritiva.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Federal de Educação do Ceará (IFCE) pela concessão da bolsa de Iniciação Científica por meio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (PIBIT). Essa oportunidade foi fundamental para o desenvolvimento do projeto, contribuindo significativamente para a formação acadêmica, científica e profissional. Obrigada pelo apoio, incentivo à pesquisa e pelo compromisso do IFCE com a construção do conhecimento e da inovação.

REFERÊNCIAS

1. Brasil. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 40, de 08 de fevereiro de 2002. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para Rotulagem de Alimentos e Bebidas Embalados que contenham glúten. Diário Oficial da União. 2002 fev 13.

2. Cezar CP. Avaliação de gomas e emulsificantes nas características de qualidades de pães sem glúten. In: Salão UFRGS 2020: SIC - XXXII Salão de Iniciação Científica da UFRGS; 2020.

3. Pinto CA, et al. Rotulagem para alergênicos: uma avaliação dos rótulos comercializados com presença ou ausência de glúten e seus riscos inerentes à saúde dos celíacos no Brasil. Research, Society and Development. 2020;9(6):e38963432.

4. Cardoso LT, et al. Doença celíaca e a utilização de novos alimentos sem glúten. 1 ed. Porto Alegre: UFRGS; 2021.

5. Mathias AS, et al. O uso de Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANCs) em uma Unidade Básica de Saúde do município de São José dos Campos, São Paulo, Brasil. Pubsaúde. 2023;9:a340.

6. Pezzini BCTF, et al. Uso de anti-inflamatórios em atletas e soluções relacionadas a dietoterapia e fitoterapia: uma revisão. Disciplinarum Scientia. Saúde. 2020;21(2):31-48.
7. Contini GK. Utilização de farinha integral de centeio e farinha integral de feijão para o desenvolvimento de muffins com alto valor nutricional (dissertação). Ponta Grossa: Universidade Estadual de Ponta Grossa; 2020.

8. Da Silva Liberato P, de Lima DVT, da Silva GMB. PANCs - Plantas alimentícias não convencionais e seus benefícios nutricionais. Environmental Smoke. 2019;2(2):102-111.

9. Pagotto CK, Tessmann JR. Ora-pro-nóbis: propriedades e aplicações. 2021.

10. Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4 ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz; 2008. p. 1020.

11. Dutcosky SD. Análise sensorial de alimentos. 4 ed. Curitiba: Champagnat; 2013. 531 p.

12. Manetta GB, et al. Utilização de farinha de Ora-Pro-Nobis. Brazilian Journal of Development. 2023;9(1):1494-1508.

13. Brasil. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 398, de 30 de abril de 1999. Regulamento técnico que estabelece as diretrizes básicas para análise e comprovação de propriedades funcionais e/ou de saúde alegadas em rotulagem de alimentos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. 1999 maio 3;82:11.

14. Brasil. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 54, de 12 de novembro de 2012. Regulamento técnico Mercosul sobre informação nutricional complementar. Diário Oficial da União. 2012 nov 13;219:122.

15. Cazagranda C, et al. Obtenção de farinha de ora-pro-nóbis (Pereskia aculeata Miller) e sua aplicação no desenvolvimento de biscoitos tipo cookie. Cadernos de Ciência & Tecnologia. 2022;39(3):e27148.

16. Moraes TV. Avaliação do perfil fitoquímico e nutricional e da atividade antioxidante de folhas, frutos, flores e caules da Pereskia aculeata Miller (ora-pro-nóbis) (tese). Rio de Janeiro: Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro; 2022.

17. De Jesus MN, de Assis Reges JT. Ora-pro-nobis: saberes e novas oportunidades. Segurança Alimentar e Nutricional. 2019;26:e019016.

EFEITO DO TRATAMENTO DE MICRO-ONDAS SOBRE OS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DO LEITE DE VACA COMO ALTERNATIVA A PASTEURIZAÇÃO CONVENCIONAL

EFFECT OF MICROWAVE TREATMENT ON THE PHYSICOCHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL PARAMETERS OF COW'S MILK AS AN ALTERNATIVE TO CONVENTIONAL PASTEURIZATION

DOI: 10.65747/conali2025v3c09

Ana Beatriz Medeiros Araújo[1]; Julyana Cardoso Taveira[2]; Nayara Santos da Rocha[3]; Jordan Dias de Souza Silva[4]; Carolina Silva Santos[5]; Deyzi Santos Gouveia[6]

[1]Estudante do Curso de Mestrado em Engenharia de Alimentos - CTRN – UFCG;

E-mail: anna.b15.abm@gmail.com

[2]Estudante do Curso de Mestrado em Engenharia de Alimentos - CTRN – UFCG;

E-mail: julyana.cardoso@estudante.ufcg.edu.br

[3]Estudante do Curso de Mestrado em Engenharia de Alimentos - CTRN – UFCG;

E-mail: nayarasntsrocha@gmail.com

[4]Estudante do Curso de Mestrado em Engenharia de Alimentos - CTRN – UFCG;

E-mail: jordandiias@outlook.com

[4]Estudante do Curso de Mestrado em Engenharia de Alimentos - CTRN – UFCG;

E-mail: carolinasilvaxx@gmail.com

[5]Docente do Depto de Engenharia de Alimentos – CTRN – UFCG;

E-mail: deyzigouveia2012@gmail.com

Resumo: Este estudo avaliou os efeitos microbiológicos e físico-químicos do leite cru bovino submetido à pasteurização convencional lenta (65 °C/30 min) e tratamento por micro-ondas, aplicando diferentes combinações de tempo e potência, em delineamento fatorial 2² com três pontos centrais. As amostras foram analisadas quanto à contagem de microrganismos mesófilos totais e bactérias ácido-láticas, além de parâmetros como gordura, proteína, lactose, densidade, pH, condutividade elétrica e sais minerais. A pasteurização convencional foi a única capaz de eliminar totalmente a carga microbiana. Entre os tratamentos por micro-ondas, o T4 (420 W/120 s) destacou-se por promover expressiva redução microbiológica e preservar a integridade dos constituintes do leite, apresentando desempenho próximo ao tratamento convencional. Em contrapartida, o T2 (140 W/120 s) mostrou-se o menos eficaz, com perda significativa de sólidos e baixa redução da carga microbiana. As alterações observadas em condutividade elétrica e pH

indicam modificações estruturais nas biomoléculas. Conclui-se que a tecnologia de micro-ondas é promissora como alternativa à pasteurização convencional, desde que os parâmetros de tempo e potência sejam cuidadosamente ajustados.

Palavras–chave: báctérias láticas; qualidade do leite; tecnologias emergentes

Abstract: This study evaluated the microbiological and physicochemical effects of slow conventional pasteurization (65 °C/30 min) and microwave treatment in raw cow's milk, using a 2^2 factorial design with three central points, varying time and power combinations. Samples were analyzed for total mesophilic microorganisms and lactic acid bacteria, as well as fat, protein, lactose, density, pH, electrical conductivity, and mineral content. Conventional pasteurization was the only method to fully eliminate microbial load. Among microwave treatments, T4 (420 W/120 s) was the most effective, significantly reducing microbial counts while preserving milk quality, showing performance similar to the conventional method. In contrast, T2 (140 W/120 s) was the least effective, with losses in nutritional components and limited microbial reduction. Variations in pH and conductivity indicated structural changes in biomolecules. Microwave-assisted pasteurization presents itself as a promising alternative, provided that time and power settings are properly optimized.

Keywords: lactic acid bacteria; milk quality; emerging technologies

INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de leite de vaca(1). Atualmente, o país conta com mais de 1 milhão de propriedades produtoras de leite, no entanto, a Secretaria de Política Agrícola projeta que, para 2030, devam permanecer os produtores mais eficientes, que se adaptarem à nova realidade de adoção de tecnologia, melhorias na gestão e maior eficiência técnica e econômica (2).

Entende-se por leite, sem outra especificação, o produto oriundo da ordenha completa, e ininterrupta, em condições de higiene, de vacas sadias, bem alimentadas e descansadas (3). Assim sendo, o leite é uma combinação de inúmeros elementos sólidos diluídos em água, constituído de lipídios, carboidratos, proteínas, sais minerais e vitaminas. Esses elementos estão associados a vários fatores que alteram sua qualidade, como clima, manejo, condições higiênico-sanitárias, nutrição, temperatura de armazenagem e transporte do leite, bem-estar animal e presença de doenças no rebanho (4). A qualidade do leite é uma grande preocupação da indústria alimentícia, dado o cumprimento das norma-exigências nutricionais e especificações sanitárias (5).

O processamento térmico dos alimentos tem como objetivo fornecer produtos seguros e de alta qualidade, diante disso, essa técnica visa aquecer o alimento até a temperatura de processamento e manter por tempo suficiente para atingir a extensão desejada de inativação microbiana e/ou enzimática, antes de ser resfriado (6). Assim, o processamento térmico é caracterizado por binômio tempo-temperatura, o qual é determinado considerando um alvo biológico específico, que por sua vez, pode ser um

microrganismo (deteriorante ou patógeno) ou uma enzima indesejável no produto alimentício (7).

De acordo com o Art. 255 do RIISPOA, “entende-se por pasteurização o tratamento térmico aplicado ao leite com objetivo de evitar perigos à saúde pública decorrentes de micro-organismos patogênicos eventualmente presentes, e que promove mínimas modificações químicas, físicas, sensoriais e nutricionais” (8).

Dentre os sistemas de pasteurização, a lenta é a mais apropriada para este caso, pois é uma técnica simples e barata, e consiste no aquecimento do leite a 62 - 65°C por 30 minutos, seguido de resfriamento a 4ºC e envase. Equipamentos alternativos de comprovada eficiência podem colaborar na viabilização do uso da pasteurização lenta, transformando pequenos produtores em microempresários e colaborando para a formalização do comércio de leite fluido, chegando a viabilizar a comercialização em feiras de produtores rurais (9).

Na última década, o aquecimento de alimentos líquidos em fluxo contínuo (pasteurização e esterilização comercial) assistido por micro-ondas tem se mostrado promissor em estudos por causa das vantagens da tecnologia em relação aos métodos convencionais, uma das principais é sob a ótica de inativação microbiana (10).

O micro-ondas é um método para a preservação da qualidade dos alimentos (11,12). Um forno de micro-ondas convencional passa radiação de micro-ondas ionizante a uma frequência de 2,45 GHz (122 mm) através de alimentos que causam aquecimento dielétrico do moléculas polares (água, açúcar, entre outras), o que favorece a absorção e dispersão de calor favorecendo a eliminação de microrganismos (13,14). Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a eficácia da pasteurização assistida por micro-ondas na redução da carga microbiana de leite cru de vaca, comparando-a com o método convencional de pasteurização e analisando os efeitos de ambos os tratamentos sobre as características físico-químicas e microbiológicas.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Engenharia de Alimentos (LEA), pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Campina Grande-PB.

Matéria-prima

O leite de vaca cru foi obtido com um produtor rural da cidade de Lagoa Seca - PB, armazenado em temperatura ≤4 °C, máximo 24 horas). As amostras foram submetidas ao processamento térmico no micro-ondas da marca Philco (PMO38E).

Planejamento Fatorial

Para avaliar a influência do tratamento de micro-ondas nas propriedades microbiológicas e físico-químicas do leite, foi utilizado um planejamento fatorial 2^2+3, onde os fatores investigados foram a potência e o tempo do tratamento. A amostra T0 serviu como controle negativo, sem aplicação de tratamento térmico, e a amostra T8 foi submetida à pasteurização convencional em fogão doméstico, a 65 °C por 30 minutos. Os dados relacionados ao planejamento fatorial estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1. Planejamento Fatorial da pasteurização do leite.

Tratamento	Potência (W)	Tempo (s)	Nível codificado (Potência)	Nível codificado (Tempo)
T0	–	–	–	–
T1	140	40	-1	-1
T2	140	120	-1	+1
T3	420	40	+1	-1
T4	420	120	+1	+1
T5	280	80	0	0
T6	280	80	0	0
T7	280	80	0	0
T8	–	–	–	–

T0= controle negativo; T8= pasteurização convencional

Análises Microbiológicas

As amostras foram analisadas quanto à contagem de microrganismos mesófilos aeróbios totais por meio da técnica de semeadura em superfície, utilizando o meio Plate Count Agar (PCA). Alíquotas de 0,1 mL das amostras e de suas diluições decimais foram inoculadas em placas de Petri contendo 15 a 20 mL de meio PCA. As placas foram incubadas invertidas a 35 ± 1 °C por 48 horas. Após o período de incubação, foram contadas as unidades formadoras de colônia (UFC) nas placas que apresentaram de 25 a 250 colônias, expressando-se os resultados em UFC/mL (15).

As amostras também foram submetidas à análise microbiológica para determinação de contagem de bactérias láticas (BAL) que teve como objetivo quantificar a população de microrganismos benéficos presentes nas amostras tratadas a partir do tratamento térmico do micro-ondas, da pasteurização e das amostras sem tratamento, utilizando a técnica de contagem em placas. As amostras foram submetidas a diluições em série decimal, sendo utilizadas neste estudo as diluições de 10^{-1},10^{-2}, e 10^{-3}, e semeadas em meio MSR Àgar para bactérias ácido-láticas, seguido de incubação a 35°C por 48 horas em condições anaeróbias. Após o período de incubação, as colônias características foram contadas e os resultados expressos em unidades formadoras de colônia por mililitro (UFC/mL) (16).

Análises Físico-químicas

Para essas análises foi utilizado o equipamento EkoMilk, analisador de leite ultrassônico portátil, para análises precisas e rápidas (90 segundos) de gordura e outros parâmetros de qualidade. Abrange amostras de leite cru, pasteurizado, UHT, desnatado, homogeneizado, padronizado e integral. As análises também foram realizadas em triplicata, em que os parâmetros analisados foram Gordura (G), Sólidos (S), Densidade (D), Proteínas (P), Lactose (L), Sais (S1), Condutividade (C) e pH.

Análise Estatística

Para os resultados das análises microbiológicas e físico-químicas foi utilizado o programa computacional Statistica 12.0, com delineamento fatorial casualizados com três repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e a comparação de médias se realizou pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 estão dispostos os dados obtidos a partir das contagens médias de microrganismos mesófilos aeróbios totais e de bactérias lácticas (BAL) no leite cru e submetido a diferentes tratamentos térmicos, expressas em $\log_{10}$ UFC/mL

Tabela 2. Contagem microbiológica nos tratamentos obtidos.

TRATAMENTO	MESÓFILOS ($\log_{10}$ UFC/mL)	BACTÉRIAS LÁCTICAS ($\log_{10}$ UFC/mL)
0	4,49 ± 1,45[a]	3,15 ±0,01[a]
1	5,94 ±0,03[a]	4,49 ±1,45[a]
2	3,11 ±0,03[ab]	3,30 ±0,00[a]
3	5,59 ±0,02[a]	3,34 ±0,3[a]
4	2,47 ±0,17[ab]	3,16 ±0,4[a]
5	3,06 ±0,00[ab]	3,27 ±0,03[a]
6	4,52 ±1,45[a]	3,26 ±0,02[a]
7	3,47 ±0,71[ab]	3,26 ±0,02 [a]
8	< 1,0	< 1,0
DMS	4,08	2,87
Erro	0,73	0,51

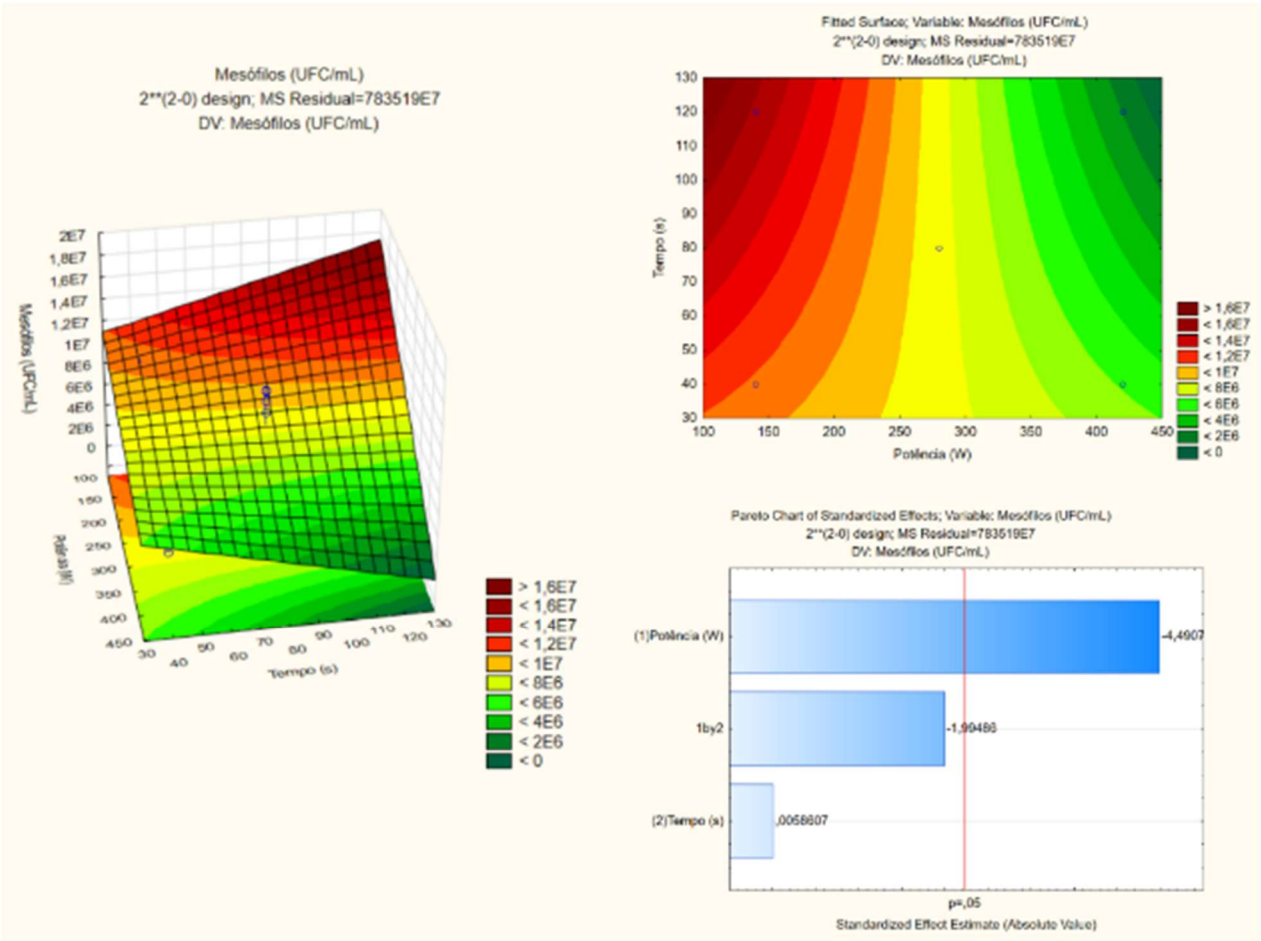
*Valores expressos em $\log_{10}$ (UFC/mL). Média ± desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente, conforme teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O leite cru (T0) apresentou uma carga microbiana elevada (4,49 ± 1,45 log UFC/mL), valor compatível com a natureza perecível do leite e com a ausência de qualquer tratamento térmico. Essa contagem reforça a importância da higienização na ordenha e no manejo pós-colheita, uma vez que a flora mesófila é amplamente utilizada como indicador de qualidade microbiológica e higiene no processamento de alimentos lácteos (17).

O tratamento térmico mais eficaz na redução da carga microbiana foi a pasteurização do leite (T8)**,** com valor abaixo do limite de detecção (1,0 log UFC/mL), demonstrando efetiva eliminação das populações mesófilas e de bactérias lácticas. Esse resultado era esperado, já que a pasteurização convencional promove aquecimento a 65°C, resultando em desnaturação irreversível de proteínas essenciais ao metabolismo bacteriano, além de destruição da membrana celular (18).

Na Figura 1 estão dispostos os gráficos de superfície de resposta, curvas de contorno e Pareto para a interação do micro-ondas e suas variáveis (potência e tempo) com a contagem de microrganismos mesófilos aeróbios.

Figura 1 – Efeito do tratamento de micro-ondas sobre a contagem de mesófilos (UFC/mL).



Fonte: Autores (2025).

A análise gráfica dos efeitos dos tratamentos por micro-ondas sobre a contagem de microrganismos mesófilos revelou comportamentos distintos conforme a combinação de tempo e potência aplicados. A superfície de resposta e o gráfico de contorno indicam uma clara tendência de redução da carga microbiana com o aumento da potência e do tempo de exposição, sendo os menores valores observados na região de maior potência (acima de 350 W) e tempo prolongado (acima de 100 s), evidenciada pelas áreas em verde no gráfico.

Por outro lado, os tratamentos localizados na faixa de baixa potência (140 W) e curto tempo (40 s), como T1 e T3, situam-se nas regiões com maior concentração de microrganismos, representadas pelas áreas em vermelho, sugerindo que essas condições não foram suficientes para inativar a microbiota, podendo inclusive ter favorecido seu crescimento. Isso reforça a hipótese de que o tempo insuficiente e a baixa intensidade térmica podem ter proporcionado condições inadequadas de tratamento, além de possíveis efeitos como ativação de microbiota subletal ou contaminação pós-processamento como observado em Zhao *et al.* (19), onde *Enterococcus faecium* resistiu a 50 °C por até 2 horas. .

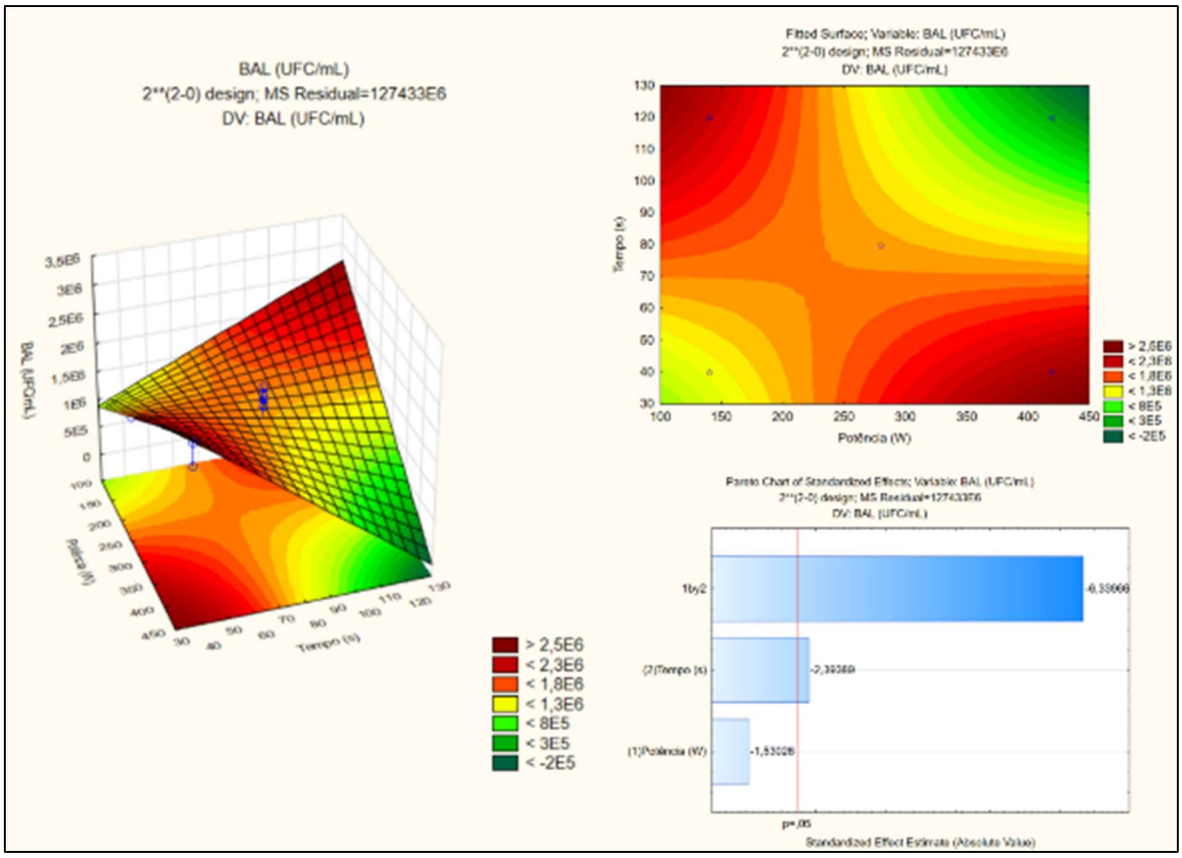
O gráfico de Pareto evidencia que a potência aplicada foi o fator mais significativo ($p < 0,05$) na redução da contagem de mesófilos, seguido pela interação entre tempo e potência, enquanto o tempo isoladamente teve efeito desprezível. Esses achados demonstram que a eficácia do tratamento por micro-ondas depende principalmente da intensidade da energia aplicada, sendo a potência o parâmetro mais determinante para o controle microbiológico.

Esses resultados ressaltam a necessidade de otimização dos parâmetros técnicos de micro-ondas, como potência, tempo e tipo de recipiente, para garantir a eficácia do tratamento térmico e a segurança microbiológica do produto final. Essa limitação já é apontada por diversos autores como um dos principais desafios na aplicação do micro-ondas para alimentos líquidos. Wang *et al*. (20), ao avaliarem a dinâmica microbiana de leite pasteurizado durante o armazenamento, também evidenciaram que certas bactérias, sobretudo lácticas como *Weissella* e *Lactococcus*, persistem mesmo após o tratamento térmico, podendo inclusive se multiplicar durante o armazenamento sob refrigeração.em que condições de recipiente.

Quanto às bactérias lácticas**,** a tendência observada foi semelhante: o tratamento com fervura foi o único com valor abaixo do limite de detecção (1,0 log UFC/mL). Nos demais tratamentos, inclusive no leite cru, as contagens mantiveram-se elevadas (de 3,15 a 4,49 log UFC/mL), com ausência de diferença estatística significativa entre eles ($p > 0,05$). Isso indica que, apesar de submetidos ao aquecimento, os tratamentos por micro-ondas não foram suficientes para inativar as BAL de forma efetiva. A resistência de bactérias lácticas a processos térmicos moderados é amplamente relatada e pode ser atribuída à sua estrutura celular e ao fato de muitas estarem adaptadas ao ambiente lácteo. Zhao *et al.* (19) reportaram o isolamento de espécies como *Lactobacillus plantarum* e *Streptococcus thermophilus* em leite pasteurizado comercial, indicando que parte da microbiota benéfica pode resistir ao tratamento térmico, desde que não seja excessivamente severo.

Na Figura 2 estão dispostos os gráficos de superfície de resposta, curvas de contorno e Pareto para a interação do micro-ondas e suas variáveis (potência e tempo) com a contagem de bactérias ácido-láticas.

Figura 2 – Efeito do tratamento de micro-ondas sobre a contagem de BAL (UFC/mL).



Fonte: Autores (2025).

A avaliação da contagem de bactérias ácido-láticas (BAL) em função do tratamento por micro-ondas, utilizando diferentes combinações de tempo e potência, revelou uma forte dependência da interação entre essas variáveis. A análise da superfície de resposta (gráfico 3D) indicou que as menores concentrações de BAL foram obtidas quando se aplicaram simultaneamente altos níveis de potência (acima de 400 W) e tempos prolongados de exposição (acima de 110 segundos). Nessa condição, observou-se uma significativa redução microbiana, evidenciada pela região verde da superfície, indicando eficácia do tratamento térmico na inativação das bactérias ácido-láticas. Por outro lado, quando a potência e o tempo foram aplicados de forma isolada ou desequilibrada, especialmente em níveis intermediários, a contagem de BAL foi elevada, como demonstrado pelas áreas em vermelho e laranja, sugerindo que essas condições podem ter sido insuficientes para promover a desnaturação térmica adequada das células microbianas.

O gráfico de contorno reforça essa tendência, destacando que a região de menor contagem de BAL concentra-se no canto superior direito do plano (alta potência e tempo), enquanto as maiores concentrações ocorrem em regiões com potência ou tempo insuficientes. Esse padrão sugere que a inativação efetiva das BAL exige não apenas um nível elevado de um dos fatores, mas a combinação simultânea de ambos para que a transferência de calor seja eficiente e uniforme. Tal comportamento pode estar relacionado ao modo de aquecimento característico do micro-ondas, no qual a geração de calor ocorre por fricção molecular, sendo altamente sensível à distribuição de energia e ao tempo de exposição.

Complementando essa análise, o gráfico de Pareto demonstrou que a interação entre tempo e potência foi o fator mais significativo ($p < 0,05$), apresentando o maior efeito padronizado negativo sobre a contagem de BAL, evidenciando a importância de se otimizar a aplicação simultânea dos dois parâmetros. O tempo de exposição isoladamente também teve efeito significativo na redução microbiana, ao passo que a potência, de forma individual, não apresentou impacto estatisticamente relevante. Esses dados indicam que o tempo é um fator crítico no processo, e que seu efeito é potencializado quando combinado adequadamente com a intensidade da potência aplicada.

Ao comparar os resultados obtidos para a contagem de microrganismos mesófilos totais e bactérias ácido-láticas (BAL) frente aos diferentes tratamentos por micro-ondas, observa-se um comportamento microbiológico distinto entre os dois grupos. A superfície de resposta e o gráfico de contorno para os mesófilos evidenciaram uma redução mais pronunciada com o aumento da potência e do tempo de exposição, especialmente em regiões onde ambos os fatores foram aplicados em níveis elevados. Essa tendência também se manteve para as BALs; no entanto, a análise dos gráficos de Pareto revela uma diferença importante: enquanto a potência foi o principal fator responsável pela redução de mesófilos, a variável mais relevante na redução das BALs foi o tempo, além da interação entre tempo e potência, que apresentou efeito altamente significativo.

Essa diferença pode ser explicada pela maior termorresistência das BALs, característica comum entre os gêneros predominantes nesse grupo, como Lactobacillus, Lactococcus e Enterococcus, que possuem mecanismos adaptativos ao estresse térmico, incluindo a produção de proteínas de choque térmico e alterações na membrana celular, como é dito por Gao *et al.* (21). Dessa forma, as BALs exigem condições térmicas mais severas (ou mais prolongadas) para serem efetivamente inativadas, o que justifica o papel mais relevante do tempo como fator isolado no seu controle. Já os microrganismos mesófilos totais incluem uma variedade mais ampla de bactérias, muitas das quais são menos resistentes ao calor, sendo mais facilmente inativadas mesmo com exposições de menor duração, desde que a potência seja suficiente para gerar picos térmicos.

Do ponto de vista tecnológico e funcional, essa diferença de sensibilidade térmica entre os grupos microbianos pode ser considerada vantajosa, especialmente em produtos onde a preservação de microrganismos benéficos é desejada. A possibilidade de aplicar condições que inativem contaminantes mesófilos indesejáveis, ao mesmo tempo em que se preserva parte da microbiota lática, é de particular interesse em sistemas fermentativos ou em alimentos minimamente processados com apelo funcional. O tratamento por micro-ondas, ao oferecer uma forma de aquecimento mais rápida e seletiva, pode ser explorado justamente para essa finalidade, desde que haja controle rigoroso das condições operacionais a fim de garantir a uniformidade térmica e a segurança microbiológica.

Portanto, a análise conjunta dos gráficos demonstra que a eficácia da inativação microbiana depende não apenas dos parâmetros físicos aplicados, mas também da composição microbiana e da resistência intrínseca dos grupos-alvo. A escolha dos parâmetros de tempo e potência deve considerar esses aspectos, podendo inclusive ser ajustada conforme o objetivo tecnológico, seja a completa esterilização, seja a seleção positiva de microbiota desejável.

Foram analisadas variáveis físico-químicas essenciais para a qualidade do leite, incluindo gordura, sólidos não gordurosos, densidade, proteínas, lactose, sais, condutividade elétrica e pH. Os resultados revelaram diferenças significativas ($p < 0,05$) para a maioria das variáveis, com exceção dos sais, conforme demonstrado na tabela 3.

A gordura é um dos principais componentes do leite, responsável não apenas pelo valor energético, mas também por características sensoriais importantes, como sabor e textura. Os valores de gordura variaram entre 4,32% (T2 – 140W/120s) e 4,73% (T8 – pasteurização convencional a 65 °C por 30 minutos). O menor teor observado em T2 pode estar associado à separação de fases ou degradação dos triglicerídeos durante o aquecimento prolongado em baixa potência. Já o maior valor em T7 indica que o tratamento convencional foi mais eficiente em preservar os glóbulos de gordura, resultado consistente com o que se observa na literatura, onde métodos mais suaves de pasteurização são associados a menor

Tabela 3. Caracterização físico-química dos tratamentos avaliados.

TRAT	VARIÁVEIS							
	Gordura (%)	**SNG (%)**	**Densidade (Kg/L)**	**Proteína (%)**	**Lactose (%)**	**Sais (%)**	**C (mS/cm)**	**pH**
0	4,47bc	8,36bc	1027,65ab	2,96ab	4,41abc	0,66a	5,24bc	6,66ab
1	4,46bc	8,42bc	1027,92ab	2,97ab	4,45abc	0,67a	5,04c	6,64b
2	4,32c	8,17c	1027,06b	2,88b	4,31c	0,65a	5,21bc	6,63bc
3	4,50bc	8,37bc	1027,76ab	2,97ab	4,43abc	0,67a	5,34b	6,60d
4	4,55ab	8,54ab	1028,26a	3,04a	4,50a	0,68a	5,24bc	6,64b
5	4,43bc	8,24bc	1027,26b	2,91b	4,35bc	0,65a	5,74a	6,60cd
6	4,47bc	8,37bc	1027,70ab	2,96ab	4,42abc	0,67a	5,10bc	6,59d
7	4,45	8,30bc	1027,48ab	2,93b	4,38abc	0,66a	5,42b	6,59d
8	4,73a	8,77ª	1028,49a	3,04a	4,50ab	0,68a	5,33b	6,69a
DMS	0,19	0,30	0,97	0,10	0,15	0,04	0,27	0,03
Erro	0,04	0,06	0,19	0,02	0,03	0,009	0,05	0,006

Legenda: SNG – sólidos não gordurosos; **C –** condutividade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente, conforme teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

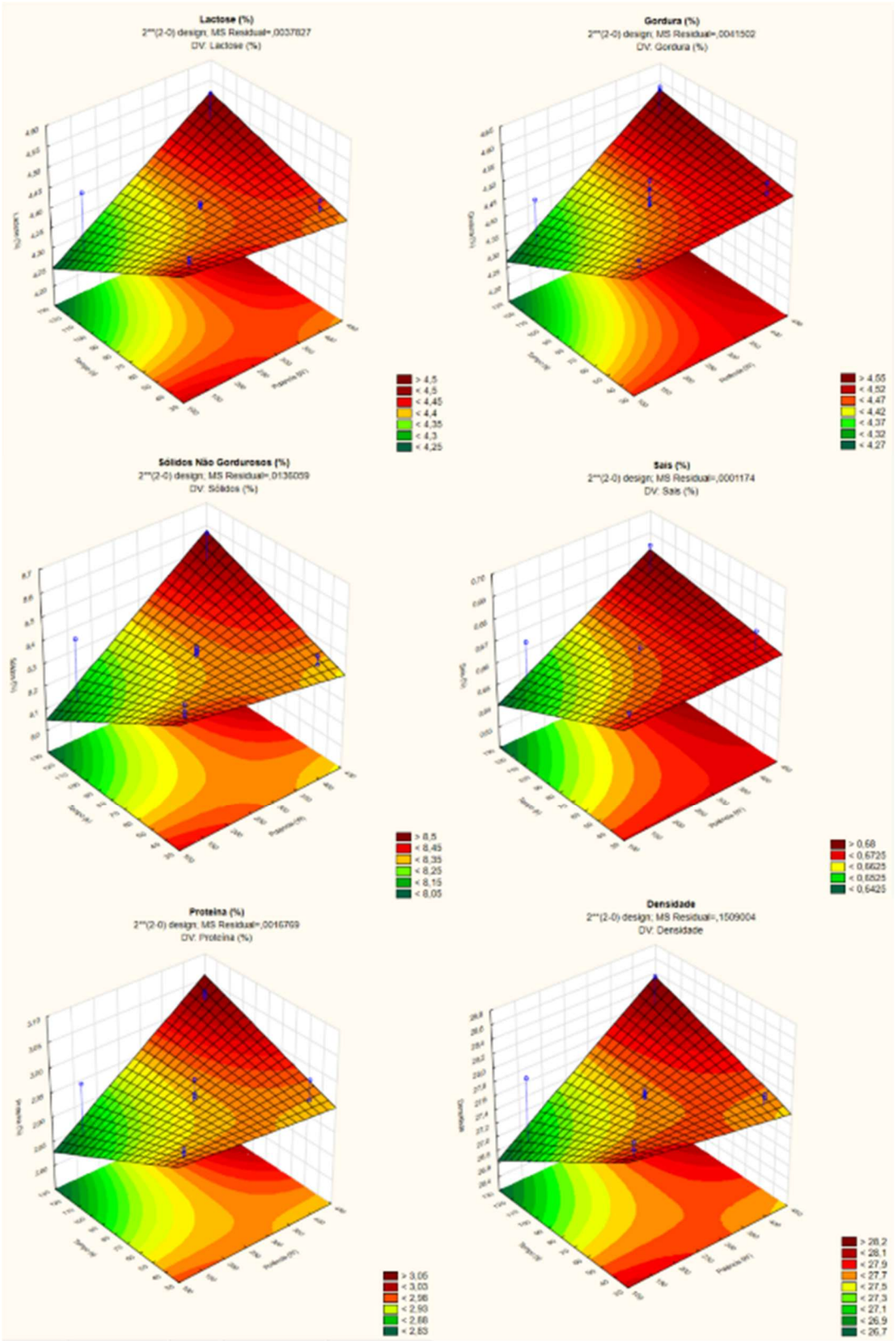
A gordura é um dos principais componentes do leite, responsável não apenas pelo valor energético, mas também por características sensoriais importantes, como sabor e textura. Os valores de gordura variaram entre 4,32% (T2 – 140 W/120 s) e 4,73% (T8 – pasteurização convencional a 65 °C por 30 minutos). O menor teor observado em T2 pode estar associado à separação de fases ou à degradação dos triglicerídeos devido ao aquecimento prolongado em baixa potência, que pode não ter gerado calor suficiente para romper a estrutura da emulsão, mas o bastante para promover instabilidade físico-química. Por outro lado, o maior valor observado em T8 indica que a pasteurização convencional, embora envolva um tempo mais longo, promoveu uma distribuição térmica mais uniforme e controlada, contribuindo para a

preservação dos glóbulos de gordura e minimizando a separação de fases. Isso é consistente com a literatura, que mostra que métodos térmicos contínuos e bem controlados, mesmo mais prolongados, podem ser mais eficientes na manutenção da estrutura lipídica em comparação com processos intermitentes ou de aquecimento não homogêneo, como ocorre frequentemente no micro-ondas (22).

Os sólidos não gordurosos (SNG) compreendem todos os constituintes do leite, exceto a gordura e a água, incluindo proteínas, lactose, sais minerais e outras substâncias dissolvidas, sendo um parâmetro importante para avaliar a densidade nutricional e a estabilidade físico-química do produto. Os valores observados neste estudo variaram entre 8,17% (T2 – 140 W/120 s) e 8,77% (T8 – pasteurização convencional a 65 °C por 30 minutos). A menor concentração verificada no tratamento T2 pode estar relacionada à instabilidade promovida pelo aquecimento prolongado e de baixa potência, que pode ter favorecido reações químicas como a desnaturação proteica ou degradação de carboidratos, além de possíveis perdas por evaporação localizada em um sistema de aquecimento não uniforme. Em contraste, o maior teor observado em T8 indica que o tratamento convencional, apesar do longo tempo de exposição, proporcionou um aquecimento mais gradual e uniforme, contribuindo para a preservação da fração solúvel do leite.

Na Figura 3 está disposto o comportamento geral das variáveis gordura, sólidos não gordurosos, densidade, proteína, sais e lactose.

Figura 3 – Comportamento dos parâmetros químicos e físicos ao tratamento de micro-ondas.



Fonte: Autores (2025).

A densidade, parâmetro diretamente influenciado pelo teor de sólidos não gordurosos, apresentou comportamento semelhante, com valores variando de 27,06 °D (T2) a 28,49 °D (T8), reforçando a tendência observada. De acordo com Abd El-Gawad *et al.* (23), a pasteurização por micro-ondas pode tanto preservar quanto comprometer os sólidos não gordurosos, dependendo do equilíbrio entre tempo e potência. Isso

sugere que, embora os tratamentos com micro-ondas ofereçam vantagens em termos de rapidez, a calibração inadequada dos parâmetros pode comprometer a integridade dos constituintes solúveis do leite.

No que diz respeito às proteínas, principalmente caseínas e proteínas do soro, os valores variaram de 2,88% (T2) a 3,04% (T4 e T8). A redução em T2 sugere ocorrência de desnaturação ou precipitação proteica, o que é coerente com os gráficos de resposta, que mostram menores concentrações nas regiões de baixa potência, mesmo com tempos prolongados. Por outro lado, T4 (420 W/120 s), representando uma combinação eficaz de potência e tempo, apresentou o mesmo teor de proteína que o tratamento convencional (T8), indicando que o micro-ondas, quando corretamente ajustado, pode preservar essas biomoléculas. Esse resultado está alinhado com os achados de Anese *et al.* (24) e Yang *et al.* (25), que ressaltam que o micro-ondas de baixa potência por longos períodos tende a alterar a estrutura das proteínas, enquanto o aquecimento rápido e uniforme pode minimizar tais efeitos.

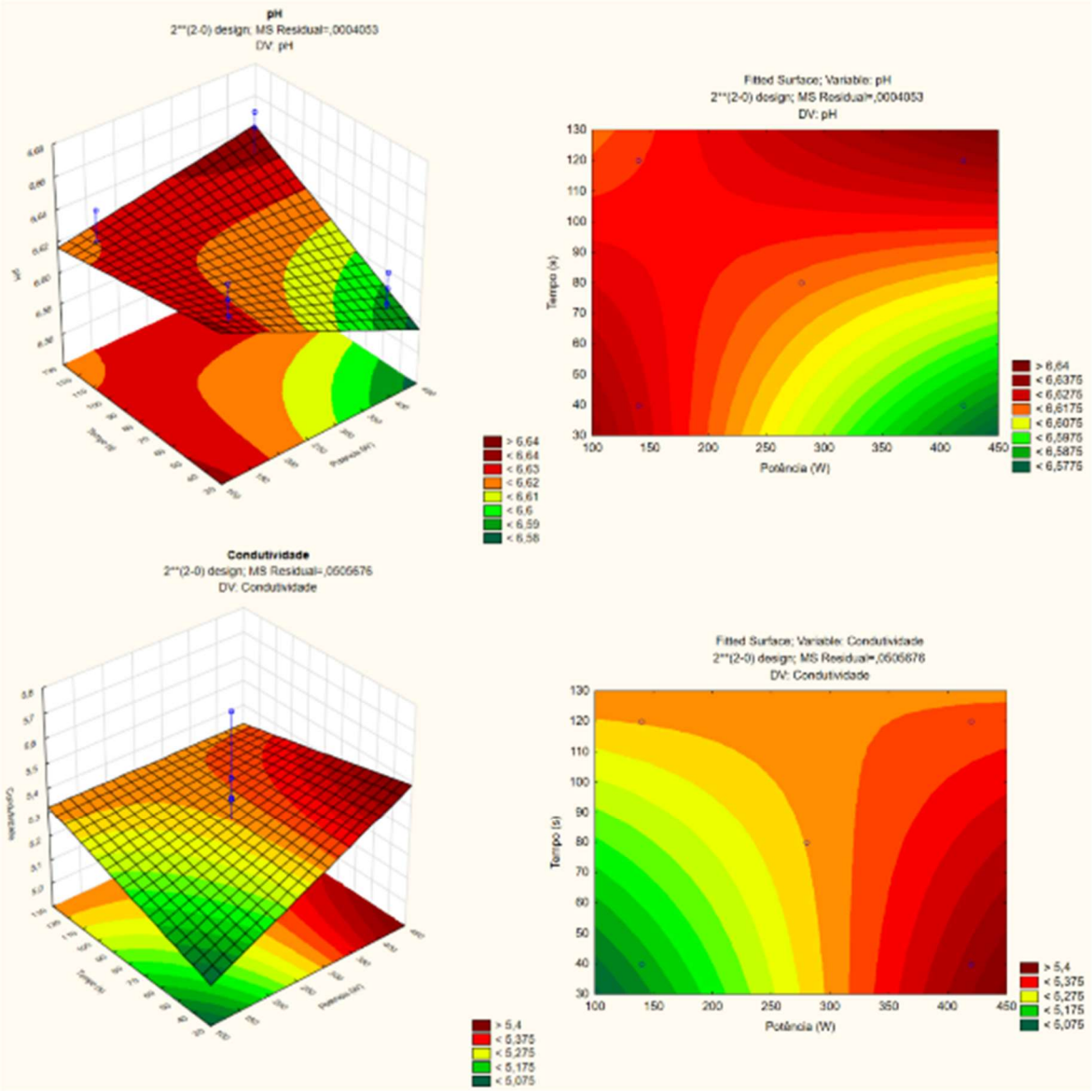
A lactose, principal carboidrato do leite, apresentou variações de 4,31% (T2) a 4,50% (T4 e T7), resultado também explicado pelos gráficos, que indicam maior preservação da lactose em áreas de alta potência e tempo moderado. A redução em T2 pode estar associada à ocorrência de reações de Maillard, que consomem açúcares redutores sob ação térmica, especialmente em aquecimentos lentos e prolongados. A manutenção dos níveis de lactose em T4 e T7 sugere que tanto o tratamento micro-ondas eficiente quanto o processo convencional são eficazes na conservação desse carboidrato. Conforme Pan *et al.* (26), o micro-ondas pode desencadear reações de escurecimento não enzimático, dependendo da intensidade e da distribuição do calor, afetando a estabilidade da lactose.

Em relação à gordura, os gráficos indicam uma tendência de menor teor nas regiões de baixa potência e tempo prolongado (como T2), chegando a 4,32%, e maior teor em T8 (4,73%). A redução observada em T2 pode estar associada à separação de fases ou à degradação parcial dos triglicerídeos, o que compromete a estabilidade da emulsão lipídica. Por sua vez, o valor mais elevado em T8 mostra que o aquecimento convencional, mesmo sendo prolongado, confere melhor preservação da fração lipídica, possivelmente devido à distribuição térmica mais uniforme e à ausência de picos localizados, típicos de sistemas de micro-ondas.

Os sais minerais, representados por íons como cálcio, fósforo, sódio e potássio, mantiveram-se estáveis entre os tratamentos, com variações discretas de 0,65% a 0,68%, e sem diferenças estatisticamente significativas. Esse comportamento, confirmado visualmente no gráfico de superfície (que apresenta baixa amplitude de variação), indica que os sais são relativamente resistentes à ação térmica nas condições estudadas. Tal constatação está de acordo com os relatos de Silva *et al.* (27), que observaram estabilidade dos minerais em tratamentos térmicos moderados.

Na Figura 4 estão apresentados o comportamento dos parâmetros físico-químicos (condutividade elétrica e pH) na representação gráfica de superfície de resposta e curvas de contorno.

Figura 4 – Comportamento dos parâmetros físico-químicos ao tratamento de micro-ondas.



Fonte: Autores (2025).

A avaliação do pH do leite submetido aos diferentes tratamentos térmicos demonstrou variações sutis, mantendo-se dentro da faixa esperada para leite fresco (6,6 a 6,8), o que indica que os tratamentos não comprometeram a acidez natural do produto. Os valores variaram de 6,59 (T6 – 280 W/80 s) a 6,69 (T8 – pasteurização convencional), sendo o menor pH associado a tratamentos por micro-ondas com intensidade térmica intermediária. Os gráficos de superfície de resposta confirmam essa tendência, mostrando redução do pH nas regiões de potência e tempo moderados (aproximadamente entre 200 e 300 W e 70 a 100 s), e estabilidade em extremos de baixa ou alta energia térmica. Essa leve acidificação pode estar relacionada à formação de compostos ácidos derivados da quebra térmica de proteínas e açúcares, como ácidos orgânicos de cadeia curta e intermediária. De acordo com Yang *et al*. (25) e Zhang *et al*. (28), esse fenômeno é comum em tratamentos por micro-ondas mal calibrados, sendo necessário cuidado para evitar perdas na qualidade sensorial e tecnológica do leite.

Por outro lado, o tratamento T8, correspondente à pasteurização convencional, manteve o maior valor de pH (6,69), o que reforça a ideia de que esse processo preserva

melhor a estabilidade química do leite, sobretudo pela homogeneidade térmica e ausência de "hot spots", típicos do aquecimento por micro-ondas. Esse resultado também é condizente com os dados observados para a condutividade elétrica, que apresenta estreita relação com o estado das proteínas e a liberação de íons no meio.

A condutividade elétrica, indicativa da presença de íons livres (principalmente cálcio, sódio, potássio e fosfato), variou de 5,04 mS/cm (T1 – 140 W/30 s) a 5,74 mS/cm (T5 – 280 W/80 s). O pico em T5 sugere um grau mais intenso de desnaturação proteica, o que favorece a liberação de íons anteriormente complexados, especialmente cálcio ligado às caseínas. A visualização gráfica da superfície de resposta evidencia esse comportamento, com valores máximos de condutividade localizados na região central dos gráficos (280 W/80 s) e redução nas bordas, especialmente em potências muito baixas ou muito altas, associadas a aquecimento insuficiente ou muito rápido, respectivamente.

Choudhary e Saini (29) relatam que o aumento da condutividade em sistemas lácteos submetidos ao calor é frequentemente atribuído à dissociação de micelas de caseína e à liberação de sais solúveis, o que reforça os resultados observados neste estudo. Já os menores valores (T1 e T2) refletem pouca alteração estrutural na matriz proteica, indicando aquecimento leve e manutenção da integridade molecular. Esse resultado sugere que há uma janela térmica crítica onde as alterações estruturais atingem um pico, o que pode ser desejável ou indesejável dependendo do objetivo tecnológico.

A associação entre queda de pH e aumento da condutividade, observada especialmente nos tratamentos intermediários (como T5, T6 e T7), evidencia a ocorrência simultânea de reações químicas como desnaturação proteica, liberação de íons e possível formação de ácidos fracos. Tal correlação já foi discutida por Anese *et al*. (23) e reafirma a importância de se ajustar cuidadosamente os parâmetros de potência e tempo no uso de micro-ondas, a fim de preservar a estabilidade físico-química do leite e evitar transformações indesejadas.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo indicam que a tecnologia de micro-ondas possui potencial real como alternativa à pasteurização convencional no processamento do leite, desde que sejam cuidadosamente otimizados os parâmetros de tempo e potência. O tratamento T4 (420 W por 120 s) destacou-se por apresentar desempenho microbiológico satisfatório, redução significativa da carga de microrganismos mesófilos e estabilidade físico-química comparável à obtida com o método tradicional (T7). Esse equilíbrio entre eficiência sanitária e preservação da qualidade nutricional reforça o potencial do uso de micro-ondas como um método viável e tecnologicamente promissor.

Por outro lado, tratamentos com baixa potência e longo tempo de exposição, como o T2 (140 W por 120 s), mostraram-se ineficazes, tanto no controle microbiológico quanto na preservação da composição do leite, acarretando perdas de gordura, lactose, proteínas e sólidos não gordurosos. A condutividade elétrica e o pH também se mostraram sensíveis às condições de tratamento, refletindo alterações estruturais importantes nas proteínas do soro e no equilíbrio ácido-base, respectivamente.

A resistência térmica observada nas bactérias ácido-láticas, mesmo em tratamentos mais intensos, destaca a possibilidade de manter parte da microbiota

benéfica no produto final, enquanto há eliminação de mesófilos deteriorantes — o que pode representar uma vantagem tecnológica em determinados contextos, como no desenvolvimento de produtos com características funcionais ou fermentadas.

Diante dos achados, conclui-se que a pasteurização assistida por micro-ondas é uma abordagem viável, desde que bem ajustada, apresentando vantagens potenciais em termos de tempo de processamento, economia de energia e preservação da qualidade do leite. Estudos futuros devem focar na modelagem térmica do aquecimento por micro-ondas, análise sensorial e avaliação da estabilidade durante o armazenamento, visando à consolidação dessa tecnologia como alternativa segura e eficiente na indústria de laticínios.

REFERÊNCIAS

1. VILELA, D.; ANDRADE, R. G.; LEITE, J. L. B.; MAGALHÃES JUNIOR, W. C. P. Produção de leite no Cerrado: conjuntura e análises. In: HOTT, M. C.; ANDRADE, R. G.; MAGALHÃES JUNIOR, W. C. P. (org.). **Geotecnologias: aplicações na cadeia produtiva do leite**. Ponta Grossa: Atena, 2022. p. 77-81.

2. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **MAPA do leite**. 2022. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/producaoanimal/mapa-do-leite. Acesso em: 20 jul. 2025.

3. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017. Aprova o Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA). **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 30 mar. 2017. Seção 1, p. 3-40.

4. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Setor de leite deve ter cautela em 2022**. 2022. Disponível em: https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Criacao/Leite/noticia/2022/01/setor-de-leite-deve-ter-cautela-em-2022-avalia-embrapa.html. Acesso em: 20 jul. 2025.

5. ZEBIB, H.; ABATEC, D.; WOLDEGIORGIS, A. Z. Qualidade nutricional e adulterantes de leite cru de vaca, pasteurizado e queijo caseiro coletado ao longo da cadeia de valor em três regiões da Etiópia. **Heliyon**, v. 9, e15922, 2023.

6. FELLOWS, P. J. **Food Processing Technology: principles and practices**. Amsterdam: Elsevier, 2009.

7. UBO, M. T. K.; BAICU, A.; ERDOGDU, F.; POÇAS, M. F. et al. Thermal processing of food: challenges, innovations and opportunities. A position paper. **Food Reviews International**, v. 39, n. 6, p. 3344-3369, ago. 2023.

8. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017. Dispõe sobre a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 29 mar. 2017. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/decreto/d9013.htm. Acesso em: 2 jun. 2025.

9. STEFFENS, J.; AMORIN, S. G.; SOUZA, F. A.; FELICETTI, M. A.; BALLEN, S. C. Estudo da distribuição de temperatura na pasteurização lenta de leite orgânico em tacho de aço inoxidável. **Revista Tecnológica**, v. 29, n. 2, p. 421–429, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.4025/revtecnol.v29i2.51920. Acesso em: 2 jun. 2025.

10. CHANDRASEKARAN, S.; RAMANATHAN, S.; BASAK, T. Microwave food processing: a review. **Food Research International**, v. 52, n. 1, p. 243-261, jun. 2013.

11. TORRENEGRA, R.; ROJAS, D.; VARGAS, R. et al. Microwave processing: current background and effects on the physicochemical and microbiological aspects of dairy products. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 18, n. 1, p. 67–83, 2019.

12. TREMONTE, P.; SORRENTINO, E.; PANNELLA, G. et al. Evolution of microbiological and chemical parameters during the ripening of traditional Italian sausages. **Food Control**, v. 38, p. 77–85, 2014.

13. SOOD, M.; JAN, A.; SOFI, S. A. et al. Non-thermal processing in food applications: a review. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 66, n. 4, p. 445–459, 2015.

14. MARTINS, C. P. C.; CAVALCANTI, R. N.; COUTO, S. M. et al. Microwave processing: current background and effects on the physicochemical and microbiological aspects of dairy products. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 18, n. 1, p. 67–83, 2019.

15. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods**. 5. ed. Washington, DC: APHA Press, 2015.

16. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 15214:1998 – Microbiology of food and animal feeding stuffs – Horizontal method for the enumeration of mesophilic lactic acid bacteria – Colony-count technique at 30 °C**. Geneva: ISO, 1998.

17. CELANO, G.; CALASSO, M.; COSTANTINO, G. et al. Effect of seasonality on microbiological variability of raw cow milk from Apulian dairy farms in Italy. **Microbiology Spectrum**, v. 10, n. 5, e00514-22, 2022. DOI: https://doi.org/10.1128/spectrum.00514-22

18. HAAS, J.; KIM, B. J.; ATAMER, Z.; WU, C.; DALLAS, D. C. Effects of high-temperature, short-time pasteurization on milk and whey during commercial whey protein concentrate production. **Journal of Dairy Science**, v. 108, n. 1, p. 257-271, 2025. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2024-25493 Acesso em: 2 jun. 2025.

19. ZHAO, J. et al. Microbial diversity analysis and isolation of thermoresistant lactic acid bacteria in pasteurized milk. **Scientific Reports**, v. 14, p. 29705, 2024.

20. WANG, Y. et al. The investigation of changes in bacterial community of pasteurized milk during cold storage. **Foods**, v. 13, n. 3, p. 451, 2024.

21. GAO, X.; KONG, J.; ZHU, H.; MAO, B.; CUI, S.; ZHAO, J. Lactobacillus, Bifidobacterium and Lactococcus response to environmental stress: mechanisms and application of cross-protection to improve resistance against

freeze-drying. **Journal of Applied Microbiology**, v. 132, n. 2, p. 802-821, 2022. DOI: https://doi.org/10.1111/jam.15251.

22. GUO, J. et al. Influence of microwave sterilization on the stability of milk fat globule membrane. **LWT – Food Science and Technology**, v. 144, p. 111208, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111208.

23. ABD EL-GAWAD, M. A. M. et al. Utilization of microwave pasteurization for milk: physicochemical properties and microbiological aspects. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, n. 4, e14398, 2020. DOI: https://doi.org/10.1111/jfpp.14398.

24. ANSE, M. et al. Effect of microwave treatment on milk proteins: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 84, p. 74–85, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.11.004.

25. YANG, H. et al. Effects of microwave pasteurization on the functional properties of milk proteins. **Dairy**, v. 3, n. 3, p. 531–547, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/dairy3030035.

26. PAN, J. et al. Effects of microwave treatment on the Maillard reaction and nutrient loss in milk. **Food Chemistry**, v. 336, p. 127725, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127725.

27. SILVA, L. C. R. et al. Avaliação da estabilidade físico-química do leite submetido à pasteurização por micro-ondas. **Revista Instituto Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 75, n. 2, p. 95–104, 2020. DOI: https://doi.org/10.14295/2238-6416.v75i2.914.

28. ZHONG, Y. et al. Structural and functional changes in milk proteins induced by microwave heating: a comprehensive analysis. **Foods**, v. 12, n. 1, p. 55, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/foods12010055.

29. CHOUDHARY, R.; SAINI, G. K. Impact of microwave heating on milk: a review. **International Journal of Dairy Technology**, v. 68, n. 3, p. 369–378, 2015. DOI: https://doi.org/10.1111/1471-0307.12216.

ELABORAÇÃO E AVALIAÇÃO SENSORIAL DE DOCE TIPO AMBROSIA UTILIZANDO POLPA E ENZIMA DE FRUTAS

PREPARATION AND SENSORY EVALUATION OF AMBROSIA-TYPE SWEET USING FRUIT PULP AND ENZYME

DOI: 10.65747/conali2025v3c10

Michelly Andrade da Silva[1], Lailla Thaline dos Santos[2], César Luís de Souza Lima[3], Arlene Cristine Alves de Melo[2], Cristiane Santos de Messias Ferreira de Lima[2], Tâmara Lúcia dos Santos Silva[4]

[1]Graduanda do Curso Superior de Tecnologia em Laticínios. Instituto Federal de Alagoas - IFAL - Campus Satuba, Alagoas; E-mail: mas19@aluno.ifal.edu.br

[2]Graduanda do Curso Superior de Tecnologia em Laticínios. Instituto Federal de Alagoas - IFAL - Campus Satuba

[3]Técnico em Agropecuária do Instituto Federal de Alagoas - IFAL - Campus Satuba e Médico Veterinário formado pelo CESMAC, Alagoas

[4]Docente do Instituto Federal de Alagoas - IFAL - Campus Satuba, Alagoas

Resumo: A ambrosia é um doce tradicional obtido pela cocção de leite, ovos e açúcar, sendo considerada uma variação do doce de leite. Considerando a possibilidade de agregar valor sensorial e nutricional por meio da adição de frutas, este trabalho teve como objetivo avaliar a aceitação sensorial de três formulações de ambrosia elaboradas com diferentes frutas. As amostras foram preparadas no Laboratório de Agroindústria do Instituto Federal de Alagoas – Campus Satuba, utilizando leite, açúcar, ovos e a adição de polpa de maracujá (A), abacaxi (B) e mamão “papaína” (C). A avaliação sensorial foi realizada por 85 provadores não treinados, entre alunos, servidores e colaboradores, com idades entre 15 e 55 anos. Os dados foram tabulados no Microsoft Excel e analisados por frequência de respostas. As amostras A e B apresentaram maior aceitação, com intenção de compra “certamente compraria” de 46% e 40%, respectivamente, enquanto a amostra C obteve 29% de intenção de compra “talvez compraria”. Conclui-se que as três formulações apresentaram boa aceitação, sendo a adição de frutas e enzimas uma alternativa viável para diversificação e valorização sensorial do doce tipo ambrosia.

PALAVRAS-CHAVES: Ambrosia; análise sensorial; doce de leite; enzima.

Abstract: Ambrosia is a traditional dessert obtained by cooking milk, eggs, and sugar, being considered a variation of milk jam. Considering the possibility of adding sensory and nutritional value through the incorporation of fruits, this study aimed to evaluate the sensory acceptance of three ambrosia formulations prepared with different fruits. The samples were produced at the Agroindustry Laboratory of the Federal Institute of Alagoas – Satuba Campus, using milk, sugar, eggs, and the addition of passion fruit pulp (A), pineapple (B), and papaya “papain” (C). Sensory evaluation was carried out with 85 untrained panelists, including students, staff, and collaborators aged between 15 and 55 years. Data were tabulated in Microsoft Excel and analyzed by response frequency.

Samples A and B showed higher acceptance, with “certainly would buy” intentions of 46% and 40%, respectively, while sample C obtained 29% of “maybe would buy”. It is concluded that all formulations were well accepted, and the addition of fruits and enzymes represents a viable alternative for diversification and sensory enhancement of ambrosia-type desserts.

Keywords: Ambrosia; sensory analysis; milk jam; enzyme.

INTRODUÇÃO

Do ponto de vista nutricional, o leite é um dos alimentos mais completos em virtude do elevado valor biológico, da alta digestibilidade e de constituir excelente fonte de proteína e cálcio. Por esses fatores, seu consumo está presente desde os primórdios da civilização humana (1)(2).

O leite, principal matéria prima dos lácteos concentrados, é composto predominantemente por água (cerca de 87,5%), lactose, gordura, proteínas e cinzas. Grande parte dessa água é removida no processo de evaporação durante a fabricação dos concentrados lácteos. Comparando-se o doce de leite em pasta e o doce de leite em barra, percebe-se que a principal diferença se dá no teor de sólidos totais e sacarose (maior no doce em barra). O leite condensado e o doce de leite em pasta, apesar da composição semelhante, apresentam características distintas devido ao processo de fabricação utilizado em cada um deles (3).

Segundo a Portaria nº 354, de 4 de setembro de 1997, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, que aprova o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Doce de Leite, “entende-se por Doce de Leite o produto, com ou sem adição de outras substâncias alimentícias, obtido por concentração e ação do calor a pressão normal ou reduzida do leite ou leite reconstituído, com ou sem adição de sólidos de origem láctea e/ou creme adicionado de sacarose (parcialmente substituída ou não por monossacarídeos e/ou outros dissacarídeos)” (4).

De acordo com Mazini *et al*., (2013) (5), o desenvolvimento de novos produtos pode manter pequenas indústrias em um mercado cada vez mais competitivo. Sendo assim, a indústria de laticínios tem buscado alternativas como novas matérias-primas na elaboração de seus produtos.

O ovo é um alimento com elevado valor nutritivo, de fácil digestão e considerado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como um alimento de proteína padrão de alto valor biológico (6). Freitas *et al*. (2011) (7) relataram que o aumento do consumo de ovos propicia benefícios nutricionais para a população. Por todos esses fatores e benefícios, os ovos, bem como o leite, estão presentes na dieta humana há muito tempo, sendo consumidos como uma refeição ou também utilizados como ingredientes de diversos pratos culinários (8).

A ambrosia contém esses dois ingredientes, leite e ovos, além de açúcar, e é muito apreciada na culinária brasileira. Introduzida no Brasil pelos colonizadores portugueses, a ambrosia tem origem na Grécia Antiga onde era considerada a “comida dos Deuses” e acreditava-se ter o poder de garantir a imortalidade aos que consumiam (Da Silva, 2016).

Segundo Araújo (2018) (9) o uso de diversas frutas na elaboração de novos produtos pode ser incentivado pelo alto valor nutricional que estas apresentam.

Maracujá é um nome popular dado a várias espécies do gênero Passiflora, do qual há 500 espécies distribuídas por regiões de clima tropical e subtropical do globo, sendo o Brasil seu maior produtor com mais de 79 espécies. O maracujá *Passiflora edulis*, conhecido como maracujá azedo ou amarelo, é o mais produzido e comercializado (10).

O abacaxi apresenta-se como um fruto perecível e vulnerável a amassamentos em condições que findam provocando perdas pós-colheita. (11).

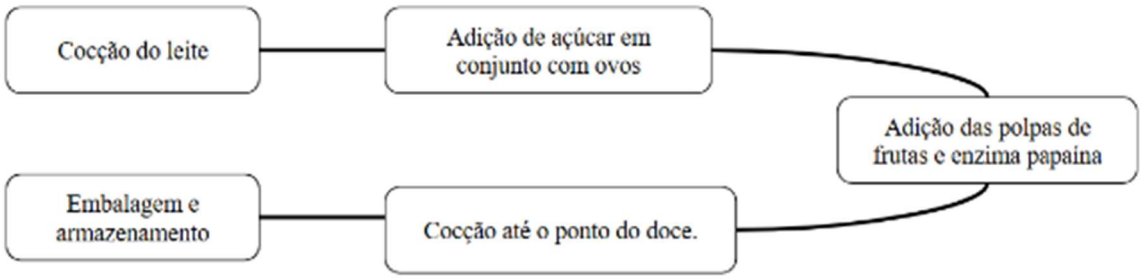
De acordo com Da Silva (2007) (12) o abacaxi pode ser utilizado diversas formas, tanto para o consumo in natura quanto na industrialização, como por exemplo: pedaços em calda, suco, pedaços cristalizados, geleias, licor, vinho, vinagre e aguardente. Sanjairaj, Iniyan e Goic (2012) (13) afirmam que um dos desafios que a humanidade enfrenta atualmente é a procura pela redução de perdas de alimentos que ocorrem ao longo da produção, colheita, pós-colheita e comercialização, os autores citam a secagem como o método mais eficazes para que aconteça a diminuição dessa perda.

A papaína possui um amplo espectro de atuação, quebrando ligações peptídicas de aminoácidos básicos (histidina, lisina e arginina), glicinas ou leucinas e hidrolisando também ésteres e amidas (14). A grande faixa de variação de pH com ótima atividade de 3,0 a 9,0, bem como seu amplo espectro de atuação enzimática supracitado, faz com que esta enzima seja utilizada para diversas finalidades (15).

Diante do exposto o sendo a ambrosia um doce tradicional brasileiro feito à base de leite, ovos e açúcar, geralmente produzido de forma artesanal e com poucas variações. A adição de frutas e enzimas naturais, como as presentes no maracujá, abacaxi e mamão, representa uma alternativa para agregar valor sensorial e nutricional à ambrosia, além de atender às demandas por alimentos mais naturais e diferenciados. Dessa forma, este estudo justifica-se pela necessidade de inovar na produção desse doce típico, avaliando como o uso de frutas e suas enzimas pode influenciar sua aceitação e características sensoriais.

MATERIAL E MÉTODOS

O doce utilizado para este trabalho foi produzido no Laboratório de Agroindústria do Instituto Federal de Alagoas/Campus Satuba. Foi elaborado seguindo o seguinte fluxograma:



Fluxograma 1 - Fluxograma de elaboração de doce tipo ambrosia.

Fonte: Autores/2025.

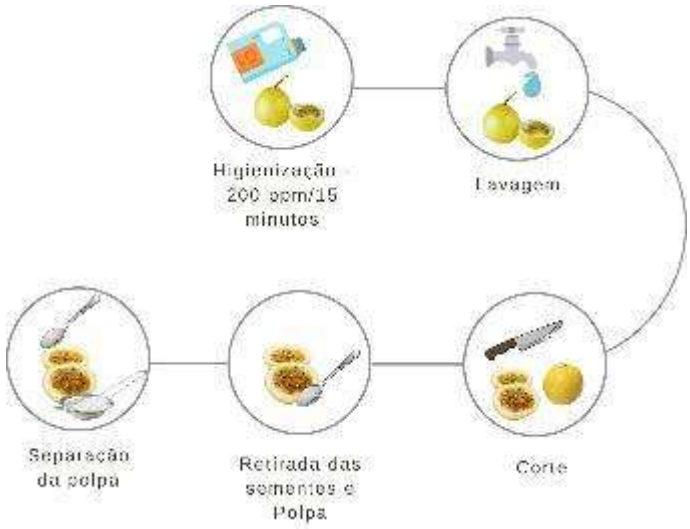
De acordo com o fluxograma, primeiro, foram submetidos cinco litros de leite a cocção em fogo brando, foram adicionado 750 g de açúcar na proporção de 15%, este açúcar foi levado ao leite em conjunto com seis ovos batidos manualmente como visto na figura 1, posteriormente foi acrescido a polpa de fruta e/ou a enzima (papaína), para o aumento da acidez e a precipitação do leite, até a obtenção do ponto de doce.

Figura 1 - bateção do açúcar com ovos para adição no leite.

Fonte: Autores, 2025.

As frutas utilizadas neste trabalho foram adquiridas em estabelecimento comercial localizado em Maceió/AL. Inicialmente os frutos foram submetidos a sanitização em solução de hipoclorito de sódio (20 ppm) por 15 minutos e, posteriormente, lavados com água potável para remoção do cloro residual. Após a higienização, foram realizadas as extrações das polpas e da seiva do mamão.

Para a extração da polpa do maracujá os frutos foram cortados ao meio, retirando a polpa e sementes com uma colher, e utilizando-se uma peneira foi realizada a separação da polpa, representado no fluxograma 2.



Fluxograma 2 - Fluxograma de despolpamento do maracujá,

Fonte: Autores/2025.

Na formulação da amostra com abacaxi, foi utilizado a polpa da casca do fruto verde, por conter maior quantidade de bromelina. Para sua extração, foi retirada a casca do fruto, realizada a bateção no liquidificador com pouca água, sendo utilizada peneira para retirada dos resíduos sólidos como observado no fluxograma 3 e figura 2.

Fluxograma 3 - Fluxograma de preparação de polpa da casca do abacaxi.

Fonte: Autores/2025.

A extração da seiva do mamão verde foi realizada fazendo cortes em sua casca, permitindo que a seiva escorra e seja coletada, como constatamos no fluxograma 4 e na figura 4.

Fluxograma 4 - Fluxograma de retirada da papaína do mamão.

Fonte: Autores/2025.

Figura 2 - Retirada da papaína do mamão.

Fonte: Autor, 2025.

Foram elaboradas três formulações de amostras (A: ambrosia com maracujá; B: ambrosia com abacaxi; e C: ambrosia com mamão “papaína"). Para as formulações utilizou-se 100 ml de polpa das frutas (maracujá e abacaxi) e para a formulação da amostra C, foi utilizada 6 g de seiva de mamão (*Carica papaya*), que contém a enzima papaína naturalmente, adicionada à mistura de leite, ovos e açúcar para auxiliar na coagulação e formação das bolas de doce (Durante testes preliminares, foram avaliadas quantidades maiores de seiva de mamão para a formulação da ambrosia. Observou-se que volumes superiores a 6 g provocaram sabor amargo no doce, comprometendo sua aceitação sensorial. Por esse motivo, a quantidade utilizada na formulação final foi limitada a 6 g de seiva, equilibrando a ação da papaína na coagulação do leite e a palatabilidade do produto.).

As análises sensoriais foram realizadas no Laboratório de Análise sensorial também do referido Campus.

As amostras codificadas em cadinhos de cerâmica com um número aleatório de três dígitos, foram apresentadas simultaneamente ao consumidor, sob luz branca e em cabines individuais. Junto a cada amostra servida, os provadores receberam um copo com água à temperatura ambiente, para limpar o palato entre uma amostra e outra, e a ficha de avaliação como pode ser visto na figura 2, participaram da pesquisa 85 provadores não treinados no Instituto Federal de Alagoas - Campus Satuba, entre funcionários, alunos e colaboradores. As amostras foram avaliadas quanto à aceitabilidade com os seguintes atributos: aparência global, cor, textura e sabor, através da escala hedônica estruturada de nove pontos (9 = gostei muitíssimo; 1 = desgostei muitíssimo), e quanto sua intenção de compra, com escala de cinco pontos (5 = compraria frequentemente; 1 = nunca compraria).

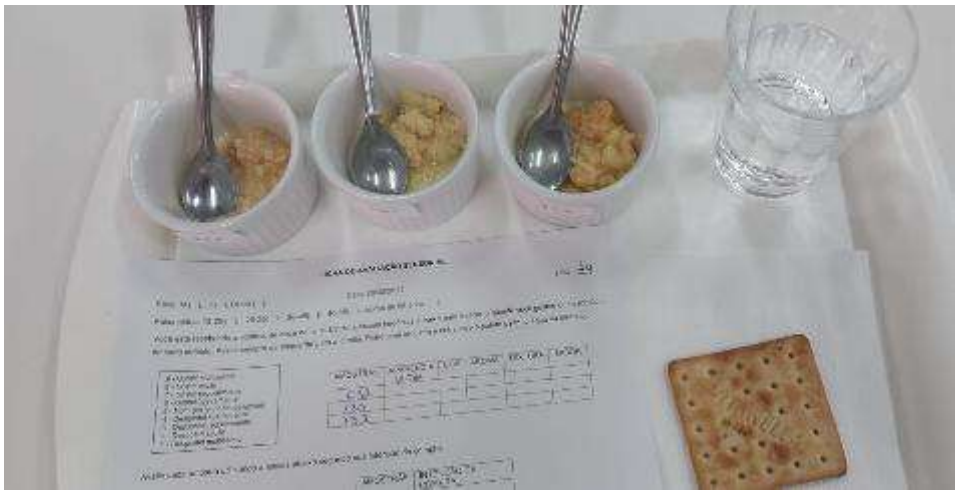


Figura 2 - Apresentação das amostras para os provadores.

Fonte: Autores, 2025.

A análise dos dados obtidos na avaliação sensorial foi realizada por meio de planilhas de frequência no Microsoft Excel, permitindo a comparação entre as amostras quanto à aceitação geral e à intenção de compra.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os participantes deste pesquisa tinham idade entre 15 e 55 anos, 52% dos participantes eram do sexo feminino e 48% masculino.

Quadro 1: Médias e desvio padrão das notas das amostras do doce tipo ambrosia com diferentes tipos de polpas de frutas e papaína.

Tratamentos	Aparência global	Cor	Aroma	Textura	Sabor
A	8,0 ± 1,67ª	8,0 ± 1,54ª	8,0 ± 1,36ª	7,0 ± 1,88ª	8,0 ± 2,14ª
B	7,0 ± 1,85ª	7,0 ± 1,80ª	8,0 ± 1,66ª	8,0 ± 1,94ª	8,0 ± 2,07ª
C	7,0 ± 1,74ª	7,0 ± 1,65ª	8,0 ± 1,60ª	7 ± 2,0ª	7,0 ± 2,23ª

*** Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de significância pelo Teste de Tukey (p > 0,05).**

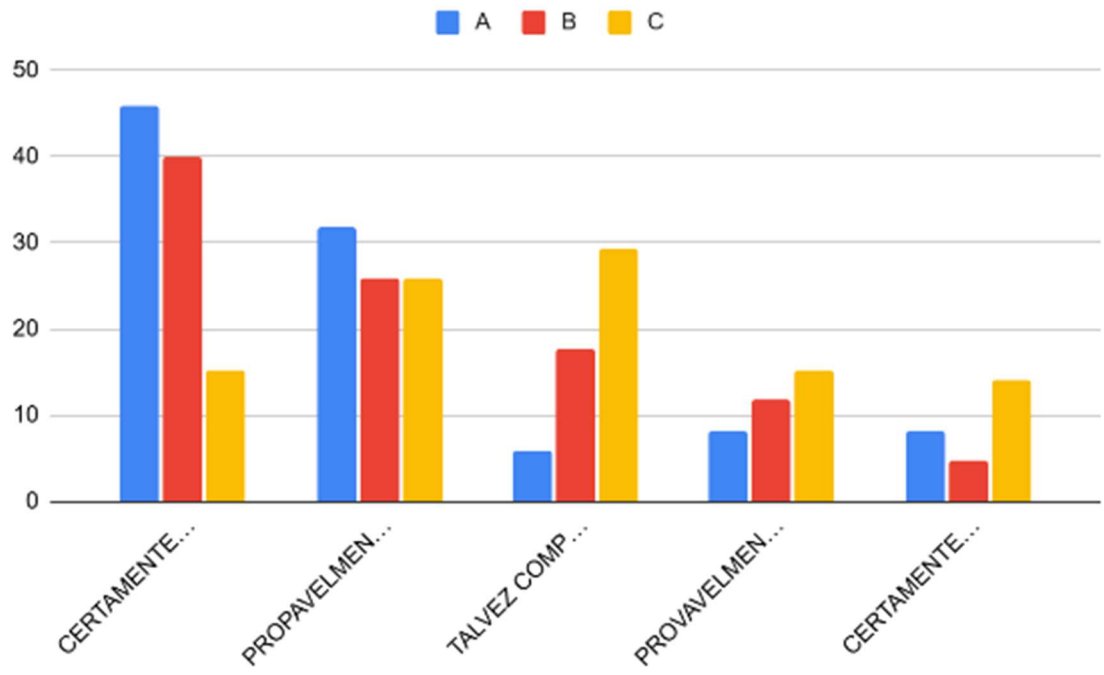
Observou-se diante dos resultados que as amostras não se diferenciam estatisticamente em nenhuma de seus atributos igualmente ao encontrado por Silva *et al*., (2011) em seu trabalho sobre “AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E SENSORIAL DE

DOCES CREMOSOS PRODUZIDOS COM SORO DE LEITE DE CABRA, LEITE DE VACA E POLPA DE UMBU", onde as amostras de doce de leite também não se diferenciam estatisticamente no teste de Tukey a 5% de significância.

Diante das médias de notas dadas às amostras, podemos averiguar que quanto ao sabor, os provadores preferiram as amostras A e B igualmente. Em relação ao aroma todas as amostras receberam média 8, já para o atributo textura a amostra B teve destaque com média 8 e para a com a amostra A obteve a maior média. Assim constatou-se que todas as amostras obtiveram média de aceitação acima de 70% para todos os atributos, Costa *et al*., (2016) em seu trabalho sobre "AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA E SENSORIAL DE DOCE EM PASTA ELABORADO COM SORO DE LEITE E PEDÚNCULO DO CAJU" verificou que as amostras de doces que apresentaram boa aceitação em todos os atributos foram as formulações F1(0%) e F2(10%) que tem a menor quantidade de massa de pêndulo do caju.

No que se refere a intenção de compra podemos observar no gráfico 1 os valores de porcentagens para cada amostra.

Gráfico 1: Porcentagens de notas atribuídas às amostras em relação a intenção de compra.



Fonte: Autores, 2025.

Podemos observar no gráfico 1 que respectivamente 46% e 40% dos provadores disseram que certamente comprariam as amostras A e B, e 29% disseram que talvez comprariam a amostra C. É possível observar que existe uma boa aceitabilidade e intenção de compra de formulações de doces diferenciados pelos consumidores, como por exemplo o que foi encontrado por Curvello *et al*., (2013) em seu trabalho sobre "AVALIAÇÃO SENSORIAL DO DOCE DE LEITE ELABORADO COM SORO DE LEITE"

que em relação à intenção de compra, o doce formulado no trabalho apresentou-se como um produto com grande possibilidade de aceitação no mercado, visto que 96% dos provadores relataram que certamente comprariam o produto.

CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos, conclui-se que a utilização de polpas de frutas e da enzima papaína constitui uma estratégia viável para a produção do doce tipo ambrosia, uma vez que contribui para a acidificação do leite, processo essencial para a formação das tradicionais “bolas” do doce. Além disso, a adição dessas polpas confere características sensoriais diferenciadas, especialmente no sabor, representando um potencial fator de inovação para o mercado.

Apesar de sua ampla aceitação e consumo, a ambrosia ainda carece de padronização em sua produção e de estudos científicos que aprofundem o conhecimento sobre suas formulações e processos. Assim, este estudo evidencia a necessidade de novas pesquisas que promovam a sistematização e a valorização desse doce tradicional, conciliando tradição cultural e inovação tecnológica.

Como desdobramentos futuros, sugere-se ampliar o número de avaliadores e incluir provadores treinados para análises sensoriais mais precisas, padronizar a quantidade e a atividade enzimática da papaína utilizada, e investigar outros tipos de frutas e enzimas que possam enriquecer o produto. Estudos adicionais também poderiam explorar aspectos nutricionais, estabilidade do produto e viabilidade de comercialização.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Federal de Alagoas-IFAL - Campus Satuba, ao Grupo de Pesquisa NATTA-IFAL e à Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação.

REFERÊNCIAS

1. DOS SANTOS BARBOSA, Antusia et al. Utilização do soro como substrato para produção de aguardente: estudo cinético da produção de etanol. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 5, n. 1, p. 6, 2010.
2. SANTOS, Barbara Melo et al. Elaboração e caracterização de queijo de leite de cabra tipo coalho com inclusão de leite de vaca. 2011.
3. STEPHANI, Rodrigo et al. Dulce de leche–chemistry and processing technology. **Milk production, processing and marketing**, p. 1-18, 2019.
4. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal. Portaria n° 354, de 04 de setembro de 1997. Regulamento Técnico para Fixação de Identidade e Qualidade de Doce de Leite. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 8 de set. de 1997.
5. MAZINI, Camila Pegorer et al. Desenvolvimento e avaliação físico-química, sensorial e da estabilidade de ácido ascórbico de doce de leite com pimenta. 2013.

6. MAIA, R. C. et al. Formação e qualidade dos ovos. **Albino, LFT; Carvalho, BR; Maia, RC; Barros, VRSM Galinhas poedeiras: criação e alimentação. 1ª ed. Viçosa: Aprenda Fácil**, p. 272-345, 2014.
7. DE FREITAS, Leonardo Willian et al. Aspectos qualitativos de ovos comerciais submetidos a diferentes condições de armazenamento. **Agrarian**, v. 4, n. 11, p. 66-72, 2011.
8. DA SILVA[1], Suelen Nunes. Preferência e caracterização química de doce tipo ambrosia com ovos de galinha e de codorna. 2019.
9. ARAÚJO, Luanna Gabriella Macêdo de. Processamento industrial de frozen yogurt potencialmente probiótico com geleia de goiaba (Psidium guajava L.). 2018.
10. ZERAIK, Maria Luiza. **Estudo analítico dos flavonoides dos frutos do maracujá (Passiflora edulis sims f. flavicarpa Degener)**. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
11. DO AMARAL MIRANDA[1], Denise Silva et al. Elaboração e caracterização de néctar de abacaxi pérola adoçado com glucose de milho. **Revista AGROTEC–v**, v. 36, n. 1, p. 82-87, 2015.
12. DA SILVA, Websten Cesário (Ed.). **Sistema de produção para a cultura do abacaxi no Estado de Rondônia**. Embrapa Rondônia, 2007.
13. VIJAYAVENKATARAMAN, S.; INIYAN, S.; GOIC, Ranko. A review of solar drying technologies. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 16, n. 5, p. 2652-2670, 2012.
14. SIGMA-ALDRICH. Papain from papaya latex. 2016 (cited 2016 12 de dezembro).
15. MOTA, Alberto Andrade Reis et al. Evolução histórica dos métodos de extração da papaína: uma revisão da literatura sobre a purificação desta enzima. **Revista de Enfermagem da FACIPLAC**, v. 2, n. 3, 2017.

EXTRAÇÃO ÁCIDA E CARACTERIZAÇÃO DA PECTINA DE POLPA DESIDRATADA DE ARATICUM-DO-BREJO (*Anonna glabra*) ASSISTIDA POR ULTRASSOM

ACID EXTRACTION AND CHARACTERIZATION OF PECTIN FROM DEHYDRATED PULP OF ARATICUM-DO-BREJO (*Anonna glabra*) ASSISTED BY ULTRASOUND

DOI: 10.65747/conali2025v3c11

Nicole Moreira Martins[1]; Gabriel Moreira Viana[2]; Isabele Vitória da Cunha Xavier[3]; Liana Cleide Flor de Lima Velho[4]; Danielle Alves da Silva Rios [5]; Lucicléia Barros de Vasconcelos Torres[6].

[1]Discente do Curso de Engenharia de Alimentos - CCA – UFC; E-mail: nicole11moreira@gmail.com

[2]Discente do Curso de Engenharia de Alimentos - CCA – UFC; E-mail: vianagabriel948@gmail.com

[3]Discente do Curso de Engenharia de Alimentos - CCA – UFC; E-mail: isabelevx@gmail.com

[4]Técnica do Laboratório de Pesquisa e Inovação em Produtos Vegetais e Embalagens - LabINOVA - CCA – UFC; E-mail: lianaflor@gmail.com

[5]Bolsista de pós-doutorado do Laboratório de Pesquisa e Inovação em Produtos Vegetais e Embalagens - LabINOVA - CCA – UFC; E-mail: nutri.danirios@gmail.com

[6]Docente do Depto de Engenharia de Alimentos – CCA – UFC; lucicleia_barros@ufc.br

Resumo: A pectina é um heteropolissacarídeo amplamente utilizada como estabilizante e espessante na área alimentícia pela sua capacidade de gelificação. O araticum-do-brejo (*Annona glabra*) é um fruto da família *Annonaceae*, muito consumida *in natura* ou na preparação de sucos. O objetivo deste estudo foi a caracterização e quantificação da pectina por extração ácida da polpa desidratada de Araticum-do-brejo auxiliada por banho-ultrassônico como potencializador do processo. Como solução extratora foi utilizada solução de ácido cítrico 50% (p/v). A extração ácida consistiu em usar proporção de 1:30 razão amostra/solução e banho-ultrassônico com potência de 31% e temperatura de 70 ºC. Foram testados 3 tempos de extração: 15, 30 e 45 minutos. A caracterização da pectina foi realizada através do método titulométrico para determinação do grau de esterificação. A extração ácida de pectina das amostras resultou em um baixo Grau de Metoxilação (GM<50%) nos parâmetros utilizados. Os tempos de 15 e 30 minutos apresentaram melhor grau de esterificação (21,59 e 23,77%), sem diferença estatística ($p < 0,01$), quando comparado com o tempo de 45 (11,23%). Por outro lado, o rendimento aumenta quanto maior o tempo de extração ($p < 0,01$), com os valores de 32,27%, 30,64% e 69%, do tempo menor ao maior, respectivamente. Entretanto, ainda que com um maior rendimento, a qualidade da pectina foi significativamente reduzida, pois apresentou grau de esterificação mais baixo em relação aos demais, e assim com uma capacidade menor de gelificar, diminuindo sua capacidade espessante e estabilizante nos alimentos.

Palavras–chave: araticum-do-brejo; esterificação; extração; pectina; ultrassom.

Abstract: Pectin is a heteropolysaccharide widely used as a stabilizer and thickener in the food industry due to its gelling ability. Araticum-do-brejo (Annona glabra) is a fruit from the Annonaceae family, commonly consumed fresh or in juice preparation. The aim of this study was the characterization and quantification of pectin obtained by acid extraction from dehydrated Araticum-do-brejo pulp, assisted by an ultrasonic bath as a process enhancer. A 50% (w/v) citric acid solution was used as the extracting solution. Acid extraction was carried out using a 1:30 sample/solution ratio and an ultrasonic bath with 31% power at 70 ºC. Three extraction times were tested: 15, 30, and 45 minutes. Pectin characterization was performed by the titrimetric method to determine the degree of esterification. Acid extraction of pectin from the samples resulted in a low Degree of Methoxylation (DM < 50%) under the tested parameters. Extraction times of 15 and 30 minutes presented a higher degree of esterification (21.59 and 23.77%), with no statistical difference ($p < 0.01$), when compared with the 45-minute time (11.23%). On the other hand, yield increased with longer extraction times ($p < 0.01$), with values of 32.27%, 30.64%, and 69% for the shortest to the longest time, respectively. However, despite the higher yield, the quality of the pectin was significantly reduced, as it showed a lower degree of esterification compared to the others, thus having a reduced gelling capacity and consequently lower thickening and stabilizing ability in foods.

Keywords: araticum; esterification; extraction; pectin; ultrassound.

INTRODUÇÃO

O Araticum-do-brejo (*Anonna glabra*) é uma árvore pertencente à família *Annonaceae* que abrange cerca de 2000 espécies. De bioma tropical, nativa da Flórida nos Estados Unidos e de algumas regiões da África Ocidental, seu fruto é caracterizado como uma baga, com polpa comestível aderida às sementes, comumente consumida *in natura* ou na preparação de doces e sucos, ademais, suas folhas são destinadas a uso medicinal na preparação de chás (1).

A polpa é rica em compostos antioxidantes, como alguns alcalóides e flavonóides (2), além de ser uma boa fonte de fibras solúveis. As fibras solúveis, formam um gel durante o processo digestivo, auxiliando na regulação de colesterol e glicemia, atuando na prevenção de doenças crônicas não transmissíveis e doenças gastrointestinais. Dentre estas, há alguns polissacarídeos como oligossacarídeos, gomas e pectinas (3).

A pectina é um heteropolissacarídeo, um polissacarídeo constituído por dois ou mais de um tipo de monossacarídeo. Na pectina está o ácido galacturônico, principal componente desse carboidrato, resultado da oxidação da galactose. Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura, FAO, o mínimo de ácido galacturônico que uma pectina deve possuir é 65% (4, 5).

As pectinas são utilizadas como espessante e estabilizante na área alimentícia devido a sua capacidade de gelificação, estas são extraídas da casca e polpa de frutas (em sua grande maioria, cítricas). A capacidade de gelificação da pectina depende do

Grau de Esterificação (GE), este é referente à razão de grupos carboxílicos (-COOH) em uma molécula que estão esterificados em relação ao total de grupos carboxílicos totais (6).

A porcentagem do GE determina o Grau de Metoxilação (GM) da pectina. Pectinas com faixa de GM superior a 50% (GM > 50%) são consideradas de alto GM e gelificam mais rapidamente, para isso requerem um pH ácido e uma maior concentração de açúcar em relação às de baixo grau para atuar como espessante. Já as de baixo grau (GM < 50%) levam mais tempo na gelificação, porém formam gel na presença de pouco ou nenhum açúcar, pois o gel é produzido pela influência de íons de cálcio (7). Por precisarem de menos açúcar, são preferíveis em receitas para pessoas que por escolha ou alguma patologia necessitem restringir a quantidade deste nutriente.

Estudos sobre o potencial do uso do bagaço de frutas que costumam apresentar pectina em sua composição, assim como de novas matrizes, mostram um interesse pelas indústrias em buscar não só soluções para auxiliar em questões de impactos ambientais gerados por resíduos industriais, com um melhor aproveitamento deles, como alternativas que promovam novas fontes dessa fibra com uso diverso pelas indústrias alimentícias (5).

As pectinas originadas de diferentes matérias-primas, podem apresentar características diversas em relação à composição, rendimento, pureza, cor, massa molar, GE, teores de açúcares neutros, distribuição dos grupos carboxil-metoxilados, bem como em outras propriedades funcionais e tecnológicas. Essas alterações em suas características, se dão, não somente pela fonte na qual é extraída, mas também pelo método de extração, temperatura/potência (dependendo do método usado), pela concentração do ácido, tempo e força da base de esterificação (8, 9).

A extração em meio ácido, realizada sob aquecimento é o método utilizado industrialmente para obtenção de pectinas, sendo utilizados comumente os ácidos cítrico, lático ou tartárico, variando as faixas de pH e temperatura, bem como o tempo empregado (5, 10).

Diante do contexto apresentado, o objetivo desta pesquisa foi avaliar através da extração ácida, a quantificação e caracterização da pectina da polpa desidratada de Araticum-do-brejo (*Anonna glabra*) assistida por ultrassom.

MATERIAL E MÉTODOS

Obtenção da matéria-prima

Os frutos maduros de araticum-do-brejo (Anonna glabra) (Fig.1) foram adquiridos no pomar didático da Universidade Federal do Ceará (UFC) - Campus Pici, Fortaleza (CE). O período da coleta aconteceu no mês de fevereiro de 2025 e os frutos foram levados ao Laboratório de Processamento de Alimentos do Departamento de Engenharia de Alimentos (DEAL/UFC), onde foram processados e armazenados.

Figura 1- Fruto e sementes de Araticum-do-brejo (*Anonna glabra*)

Fonte: Autores, 2025

As etapas de secagem, extração e caracterização da pectina foram realizadas nas instalações do Laboratório de Pesquisa e Inovação em Produtos Vegetais e Embalagens (LabINOVA) do mesmo Campus.

Processamento da matéria-prima

Inicialmente, os frutos foram selecionados, descartando aqueles muito maduros ou com injúrias em suas cascas. Estes foram então lavados em água corrente e devidamente higienizados em solução de hipoclorito de sódio 200 ppm por 20 minutos, seguido de enxague em água corrente.

Posteriormente, com o auxílio de uma faca devidamente higienizada, os frutos foram manualmente descascados e despolpados, separando a polpa da semente. A polpa foi triturada em multiprocessador doméstico (Philips Walita 3000 series, 750W) para obtenção de uma amostra homogênea.

A polpa triturada foi acondicionada em assadeira de alumínio com papel manteiga e submetida à secagem em estufa de secagem com renovação e circulação de ar (TE-394/2, Tecnal) a 55 °C, durante 42 horas. Logo após, a polpa seca foi triturada em liquidificador industrial (Spolu, modelo 2 L, ECO, 800W e 18.000 RPM) e passada em peneira granulométrica de 24 meshs para obtenção de um pó fino e uniforme (Fig. 2).

Figura 2 - Pó de polpa de araticum-do-brejo.

Fonte: Autores, 2025

Extração da pectina

Para determinar se a polpa de araticum-do-brejo se apresentava como uma fonte de pectina, preliminarmente, foi realizado um teste qualitativo que consistiu em adicionar 50 mL de álcool etílico 99,5 °GL em 1 g de polpa fresca triturada, levemente homogeneizada com o auxílio de bastão de vidro e colocada em repouso por três minutos. Após o tempo decorrido, a amostra foi misturada novamente com bastão de vidro e observou-se que a polpa não se desintegrou, formando um precipitado homogêneo (Fig. 3) (11). Assim, pôde-se inferir que a polpa de araticum-do-brejo possui pectina.

Figura 3 - Teste qualitativo para determinação de pectina em polpa de araticum-do-brejo.

Fonte: Autores, 2025

Para realizar a extração ácida de pectina, foi utilizada uma solução de ácido cítrico 50% (p/v) com pH 1,0 como solução extratora. Em béqueres foram pesados 3,0 g de pó da polpa araticum-do-brejo e, em seguida, foram adicionados 90 mL de solução de ácido cítrico 50% (proporção 1:30 amostra/solução).

As amostras foram então transferidas à lavadora ultrassônica (Modelo Q 13/25A, Ultronique, Brasil) com frequência de 25 kHz e amplitude de 31%W (potência sônica de 140W) e temperatura de 70°C. O único parâmetro variável na extração foi o tempo, onde foram realizados testes em três momentos: 15, 30 e 45 minutos. Todos os ensaios foram feitos em triplicata.

Após esse processo, as amostras foram resfriadas em banho de gelo durante uma hora. Em seguida, foram transferidas para tubos Falcon de 50 mL e centrifugadas (Hettich, Rotina 380 R) por 10 minutos a 11.000 RPM com temperatura de 25°C, sendo recolhido ao final apenas o sobrenadante.

Ao sobrenadante contendo a pectina, foi adicionado duas partes de álcool etílico 96% para uma parte do sobrenadante (proporção 1:2), seguida de agitação em agitador magnético (Modelo GT-AMB2L, Global Trade Technology) por um minuto. Essa mistura foi deixada em repouso por 24h para a redução da solubilidade da pectina pelo álcool, o que promoveu a precipitação do composto (Fig. 4).

Figura 4 - Precipitação da pectina após 24h em álcool 96%

Fonte: Autores, 2025

Passado este período, as amostras foram centrifugadas novamente com os mesmos parâmetros citados anteriormente. Desta vez, o sobrenadante contendo álcool e impurezas insolúveis foi descartado e foi recolhido o precipitado, a pectina (Fig. 5).

Figura 5 - Pectina precipitada após centrifugação

Fonte: Autores, 2025

As amostras centrifugadas foram transferidas para funil de vidro para lavagem com álcool 96%, sendo o processo de lavagem repetido 6 vezes para a purificação da pectina. Posteriormente, a pectina lavada foi acondicionada em placas de petri e seca em estufa com circulação de ar a 60°C até peso constante (Fig. 6). Após a secagem, notou-se certo escurecimento da amostra, provavelmente devido ao calor seco da estufa, típico de pectinas extraídas de frutas ácidas como o Araticum-do-brejo (9).

Figura 6 - Pectina úmida após lavagem com álcool 96% e após secagem em estufa com circulação de ar.

Fonte: Autores, 2025

O rendimento da pectina foi calculado pela equação abaixo (Eq. 1) (12):

$$Rendimento\ (\%) = \frac{massa\ de\ pectina\ seca}{massa\ de\ pó\ de\ polpa} \times 100 \quad \text{(Eq.1)}$$

Caracterização da pectina pelo Grau de Esterificação

O Grau de Esterificação (GE) da pectina extraída do pó da polpa de araticum-do-brejo foi determinado seguindo o método de titulação (13). As pectinas secas foram trituradas com auxílio de almofariz e pistilo para obtenção de pó. Foram utilizados 200 mg e adicionados 5 mL de álcool etílico 95% e 20 mL de água em erlenmeyer de 250 mL. A mistura foi levada a banho-maria (Dubnoff TECNAL, Modelo - TE-05), com temperatura de 45°C e agitação de 60 RPM, por 35 minutos. Em seguida, foram adicionadas três gotas do indicador fenolftaleína e titulou-se a amostra com NaOH 0,1M. O volume gasto de NaOH foi registrado como Vi (volume inicial antes da desesterificação).

Após a titulação, foi adicionado mais 10 mL de NaOH 0,1M à amostra e levado a agitador magnético por um minuto e meio. Feito isso, as amostras repousaram por 2h em temperatura ambiente para desesterificação da pectina, onde um éster é produzido pela reação de álcool e um ácido carboxílico (Fig. 7).

Figura 7 - Processo de desesterificação das amostras

Fonte: Autores, 2025

Decorrido o tempo de repouso, foram adicionados às amostras 10 mL de HCl 0,1M, que foram levemente agitadas para que a coloração rosa desaparecesse. Mais três gotas de fenolftaleína foram adicionadas às amostras e titulou-se novamente com NaOH 0,1M.

O volume gasto de NaOH após esta segunda titulação foi registrado como Vf (volume final após a desesterificação) e o (GE) determinado pela seguinte equação (Eq. 2) (13):

$$GE\ (\%) = \left(\frac{Vf}{(Vf+V)}\right) \times 100 \quad \text{(Eq. 2)}$$

Análise estatística

As análises foram realizadas em triplicata e os dados foram expressos com média ± desvio padrão. Os resultados das análises em função do tempo foram analisados através de teste de diferença de média (Tukey). Os dados foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) e Tukey ($p<0,01$) utilizando o *software* Statistica 7.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Grau de Esterificação e Rendimento da pectina

A porcentagem obtida de esterificação permite a classificação da pectina com alto ou baixo GM (7). Na Tabela 1 estão expressos os resultados do GE e do rendimento da pectina para os três tempos de extração avaliados. As amostras com tempo de extração de 15 e 30 minutos não diferiram estatisticamente entre si, mas houve diferença entre elas e a amostra que foi obtida pelo tempo de extração de 45 minutos ($p<0,01$).

Tabela 1 – Resultados do Grau de Eterificação (GE) da pectina extraída da polpa em pó de araticum-do-brejo

Tempo (min)	GE (%)
15	21,59[a] ± 0,52
30	23,77[a] ± 1,23
45	11,23[b] ± 0,41

Fonte: Autores, 2025

[a, b, c] Médias com letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si ($p <0,01$).

Todas as amostras analisadas resultaram em pectinas com baixo GM, ou seja, com GM inferior a 50%. As amostras de pectina extraídas quando foram empregados os tempos de 15 e 30 minutos apresentaram valores mais elevados. Entretanto, para o tempo de 45 minutos o GM foi inferior (11,23%). Apesar da diferença, nos 3 tempos os valores estão abaixo de 50%, o que indica que a pectina levará mais tempo para gelificar e pode não necessitar de açúcar, tendo indicação de uso para elaboração de produtos para pessoas com restrição de ingestão de açúcar.

Em um estudo com extração ácida de pectina da casca de maracujá assistida por ultrassom, foi determinado o GE apenas para amostras obtidas nas condições que proporcionaram maior rendimento de pectina e obteve-se 81,93% de GE (14). Dessa forma é possível observar que apesar da utilização de técnicas parecidas para extração da pectina, diferentes matérias-primas irão resultar em graus de esterificação diferentes.

A Tabela 2 apresenta as diferenças entre as médias dos rendimentos obtidos nos 3 tempos de estudo no processo de extração de pectina. Os resultados obtidos mostram que os 3 tempos resultam em diferentes rendimentos (p< 0,01).

Tabela 2 – Resultados do rendimento da pectina extraída da polpa em pó de araticum-do-brejo

Tempo (min)	Rendimento (%)
15	32,27[b] ± 0,26
30	30,64[c] ± 0,26
45	69,00[a] ± 0,15

Fonte: Autores, 2025

[a, b, c] Médias com letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si (p <0,01).

Observou-se que o tempo de extração influenciou diretamente no aproveitamento, com potência (140 W) e temperatura (70 °C) constantes, promovendo um rendimento maior de pectina.

O efeito do ultrassom permitiu otimizar o parâmetro tempo, podendo reduzir a duração da extração, em relação ao método químico convencional, em até um quarto de tempo (15). Com 45 minutos, foi obtido um rendimento de quase 70%, com o uso de ultrassom, menos de uma hora e com apenas 31% de potência sônica. Já as pectinas extraídas com 15 e 30 minutos resultaram em um aproveitamento menor, ambas com valores próximos a 30% de rendimento.

O ultrassom promove rendimento significativo em menor tempo devido a liberação de compostos desejados provenientes do rompimento das células biológicas pelas ondas ultrassônicas, aumentando a transferência de massa (16).

Ao avaliarem a eficiência da extração de caqui adstringente e não adstringente, utilizando citrato de sódio, observou-se que o aumento de temperatura influenciou de maneira significativa (p < 0,05) a elevação do rendimento, com uma variação de 55 e 85 °C, a extração passou de 2,3% para 4,7%. Além disso, de maneira semelhante ao encontrado neste trabalho, o tempo do processo de extração teve um efeito positivo no rendimento, 2,4% (8,9 minutos) para 4,5% (141,2 minutos) (12).

CONCLUSÃO

A extração ácida de pectina a partir da polpa desidratada de araticum-do-brejo com o uso de ondas ultrassônicas e solução de ácido cítrico, resultou em um GM menor que 50%. O melhor rendimento de pectina foi obtido no tempo de 45 minutos (aproximadamente 70%), o que mostra que tempos mais longos favorecem a liberação de pectina, o contrário foi observado nas extrações de 15 e 30 minutos, com rendimento na faixa de 30%.

Todas as amostras apresentaram baixo GE, com porcentagem inferior a 50%. Contudo, observou-se que os tempos de 15 e 30 minutos apresentaram melhor GE em comparação com o de 45 minutos. Isso mostra que, apesar do rendimento ser maior, a qualidade da pectina é significativamente reduzida devido ao aumento de duração da extração.

Com isso pode-se concluir que, apesar do baixo GM, a pectina obtida de araticum-do-brejo se mostra uma opção promissora e alternativa para ser utilizada principalmente em receitas diet, por requererem pouco ou nenhum teor de açúcar e pH mais básico.

Estudos futuros são necessários para ajustar e melhorar o processo de extração da pectina de araticum-do-brejo assistida por ultrassom, visando manter as propriedades funcionais de gelificação da pectina, contribuindo na otimização dos processos de obtenção e rendimento deste carboidrato, tendo em vista uma possibilidade atrativa de extração em escala industrial, além de dar destaque ao fruto como uma fonte promissora de pectina e uma opção a mais para a aquisição deste composto.

REFERÊNCIAS

1 SINCHANA, R.; MANI, T. T.; PAVITHRA, T.; SHIJU, L. A review on a miracle plant *Annona glabra* Linn. **International Journal of Pharmacognosy**, India, v. 11, n. 3, p. 65-77, 2024. DOI: https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.IJP.11(3).65-77.

2 SIEBRA, C. A.; NARDIN, J. M.; FLORÃO, A.; ROCHA, F. H.; BASTOS, D. Z.; OLIVEIRA, B. H.; WEFFORT-SANTOS, A. M. Potencial antiinflamatório de *Annona glabra,* Annonaceae. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, Brasil, v. 19, n. 1A, p. 82-88, 2009. DOI: https://doi.org/10.1590/S0102-695X2009000100017.

3 CATALANI, L. A.; KANG, E. M. S.; DIAS, M. C. G.; MACULEVICIUS, J. Fibras Alimentares. **Revista Brasileira de Nutrição Clínica**, Brasil, v. 18, n. 4, p. 178-182, 2003.

4 FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Pectins**, 2009. Disponível em: https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/jecfa_additives/docs/monograph7/additive-306-m7.pdf. Acesso em: 20 mai. 2025.

5 CANTERI, M. H. G.; MORENO, L.; WOSIACKI, G.; SCHEER, A. P. Pectina: da matéria-prima ao produto final. **Polímeros**, Brasil, v. 22, n. 2, p. 149-157, 2012. DOI: https://doi.org/10.1590/S0104-14282012005000024.

6 CUI, Y.; CHEN, J.; ZHANG, S. The effect of degree of esterification of pectin on the interaction between pectin and wheat gluten protein. **Food Hydrocolloids,** v. 136, n. A, p. 108272, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108272.

7 CHANDEL V.; BISWAS D.; ROY, S.; VAIDYA, D., VERMA, A.; GUPTA, A. Current Advancements in Pectin: Extraction, Properties and Multifunctional Applications. **Foods**. Suíça, v. 11, n. 17, p. 2683, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/foods11172683.

8 CAMPOS, N. A.; LIVIZ, C. A. M.; SORA, G. T. S.; PAULA, L. C.; POLESI, L. F.; OLIVEIRA-FOLADOR, G. Pectina: uma abordagem teórica sobre os métodos de extração. **Brazilian Journal of Food Research**, Brasil. v. 13, n. 2, p. 31-50, 2022. DOI: https://doi.org/10.3895/rebrapa.v13n2.15072.

9 ROMAN-BENN, A; CONTADOR,C. A.; LI, M.; LAM, H.; AH-HEN, K.; ULLOA, P. E.; RAVANAL, M. C. Pectin: An overview of sources, extraction and applications in food products, biomedical, pharmaceutical and environmental issues, **Food Chemistry Advances**, v. 2, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100192.

10 GUEVARA, S. P. **Extração sustentável e caracterização da pectina obtida do mamão formosa**. 2020. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2020.

11 KROLOW, A. C. R. **Preparo artesanal de geleias e geleiadas**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2013. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, n. 138).

12 MUÑOZ-ALMAGRO, N.; VENDRELL-CALATAYUD, M.; MÉNDEZ-ALBINANA, P.; MORENO, R.; CANO, M. P.; VILLAMIEL, M. Extraction optimization and structural characterization of pectin from persimmon fruit (Diospyros kaki Thunb. var. Rojo brillante). **Carbohydrate Polymers**, v. 272, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118411.

13 LIEW, S. Q.; CHIN, N. L.; YUSOF, Y. A. Extraction and Characterization of Pectin from Passion Fruit Peels. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 2, p. 231 – 236, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2014.11.033.

14 RODRIGUES, G. M.; SILVA, C. Extração ácida da pectina da casca de maracujá assistida por ultrassom. **E-xacta,** Brasil, v. 10, n. 1, p. 45-52, 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.18674/exacta.v10i1.2126.

15 XU, S.; CHEN, X.; LIU, Y.; CHEONG, K. Ultrasonic/microwave-assisted extraction, simulated digestion, and fermentation in vitro by human intestinal flora of polysaccharides from *Porphyra haitanensis*. **International Journal of Biological Macromolecules.** v.152, p. 748–756, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.305.

16 WANG, L.; WELLER, C. L. Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. **Trends in Food Science & Technology**, v. 17, n. 6, p. 300-312, 2006. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.12.004.

EXTRAÇÃO VERDE DE COMPOSTOS BIOATIVOS UTILIZANDO SOLVENTES EUTÉTICOS NATURAIS PROFUNDOS (NADES) ASSISTIDA POR ULTRASSOM: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

GREEN EXTRACTION OF BIOACTIVE COMPOUNDS USING NATURAL DEEP EUTECTIC SOLVENTS (NADES) ASSISTED BY ULTRASOUND: A SYSTEMATIC REVIEW

DOI: 10.65747/conali2025v3c12

Anderson José de Lucena[1]; Ariell Gilmara Carneiro Teófilo Caldas [2], Paulo Fernando da Silva Ramos [3], Marcony Edson da Silva Júnior[4], Maria Inês Sucupira Maciel [5]

[1]Mestrando em Ciência e Tecnologia de Alimentos - PGCTA/UFRPE, andersonjosedelucena@gmail.com;

[2]Graduanda em Ciências do Consumo, UFRPE, ariellteofilo@gmail.com;

[3]Graduando em Ciências do Consumo, UFRPE, paulofer456@hotmail.com;

[4]Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos, UFRPE e UNINASSAU CAXANGÁ, marcony172009@hotmail.com;

[5]Professora Doutora do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos-PGCTA/UFRPE, m.ines@dcd.ufrpe.br.

Resumo: Esta revisão sistemática investigou a aplicação combinada de solventes eutéticos naturais profundos (NADES) e extração assistida por ultrassom (EAU) como estratégia verde para a recuperação de compostos bioativos a partir de matrizes vegetais, com ênfase em subprodutos agroindustriais. A busca foi realizada nas bases de dados ScienceDirect, PubMed e Periódicos Capes, abrangendo publicações entre 2023 e 2025. Após a aplicação dos critérios de inclusão, foram selecionados 15 estudos que utilizaram a combinação EAU-NADES para extrair compostos como fenólicos, flavonoides e curcuminoides. Observou-se ampla diversidade de matérias-primas vegetais, incluindo folhas, sementes, rizomas, bagaço de frutas, cascas, entre outras. O cloreto de colina foi o aceitador de ligação de hidrogênio (ALH) mais frequentemente empregado, geralmente combinado com ácidos orgânicos, álcoois ou açúcares. A eficiência das extrações variou de acordo com a composição do NADES, a proporção de água adicionada e os parâmetros ultrassônicos aplicados. Foram reportados elevados rendimentos de compostos fenólicos totais (CFT), acompanhados de atividades antioxidante, antimicrobiana, antidiabética e citotóxica seletiva, evidenciando o potencial funcional dos extratos obtidos. Em síntese, a técnica EAU-NADES se mostra como uma alternativa eficiente, ecológica e economicamente viável em comparação aos métodos convencionais, alinhando-se aos princípios da química verde e contribuindo para a valorização de subprodutos e fortalecimento da bioeconomia circular. Contudo, destaca-se a necessidade de estudos adicionais sobre a segurança, estabilidade e aplicação industrial dos extratos, bem como o desenvolvimento de novos sistemas NADES com maior seletividade.

Palavras–chave: química verde; bioeconomia circular; subprodutos agroindustriais; propriedades bioativas.

Abstract: This systematic review investigated the combined application of natural deep eutectic solvents (NADES) and ultrasound-assisted extraction (UAE) as a green strategy for recovering bioactive compounds from plant matrices, with an emphasis on agro-industrial by-products. The literature search was conducted in the ScienceDirect, PubMed, and Capes Periodicals databases, covering publications from 2023 to 2025. After applying the inclusion criteria, 15 studies were selected that employed the UAE-NADES combination to extract compounds such as phenolics, flavonoids, and curcuminoids. A wide variety of raw materials was observed, including leaves, seeds, rhizomes, fruit pomace, peels, among others. Choline chloride was the most frequently used hydrogen bond acceptor (HBA), generally combined with organic acids, alcohols, or sugars. Extraction efficiency varied according to the composition of the NADES, the proportion of added water, and the ultrasonic parameters applied. High yields of total phenolic compounds (TPC) were reported, along with antioxidant, antimicrobial, antidiabetic, and selective cytotoxic activities, demonstrating the functional potential of the resulting extracts. In summary, the UAE-NADES technique presents itself as an efficient, eco-friendly, and economically viable alternative to conventional methods, aligning with the principles of green chemistry and contributing to the valorization of by-products and the advancement of the circular bioeconomy. However, further studies are needed to evaluate the safety, stability, and industrial applicability of the extracts, as well as the development of new NADES systems with greater selectivity.

Keywords: green chemistry; circular bioeconomy; agro-industrial byproducts; bioactive properties.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda global por alimentos e a intensificação dos processos industriais geram quantidades expressivas de subprodutos agroindustriais anualmente. Segundo Oliveira *et al.* (1), a indústria alimentícia produz aproximadamente 37 milhões de toneladas de resíduos por ano em escala global, sendo que a indústria de processamento de frutas e vegetais é responsável por cerca de 29,3% desse total. Além disso, Plaza e Marina (2) relatam que, na indústria de citros, cerca de 50–60% do peso total da fruta é descartado sob a forma de subprodutos, como cascas, sementes e bagaço. Esses coprodutos, geralmente descartados, contribuem para problemas ambientais significativos, incluindo poluição da água, degradação do solo e emissões de gases de efeito estufa, devido à sua alta instabilidade biológica e concentração de compostos orgânicos (3).

No entanto, com a crescente conscientização sobre a sustentabilidade, esses resíduos deixaram de ser vistos apenas como descarte e passaram a ser reconhecidos como matérias-primas valiosas, com potencial para serem aproveitadas de forma responsável e na promoção de uma bioeconomia circular (3,4). Essa abordagem está alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas, especialmente o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis) e o ODS 13 (Ação Climática), buscando aumentar a utilização de recursos e diminuir o impacto ambiental.

Os subprodutos agroindustriais, embora muitas vezes negligenciados, são fontes ricas e inexploradas de compostos bioativos (1,4). Incluem uma vasta gama de moléculas, como compostos fenólicos (polifenóis, flavonóides, proantocianidinas), terpenóides e carotenóides, amplamente reconhecidos por suas propriedades biológicas, incluindo atividades antioxidantes, anti-inflamatórias, antimicrobianas, antidiabéticas, anticancerígenas e neuroprotetoras (5,6). A recuperação desses bioativos abre oportunidades para o desenvolvimento de novos produtos e ingredientes funcionais para as indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética, agregando valor a esses materiais (4).

A extração desses compostos tem sido realizada, por métodos convencionais, como soxhlet, maceração e decocção (7). Embora eficazes em certos contextos, essas técnicas apresentam limitações significativas, pois exigem longos tempos de extração, grandes quantidades de solventes

orgânicos tóxicos e voláteis (como metanol e acetona) e elevadas temperaturas, o que pode resultar na degradação de compostos bioativos sensíveis ao calor e baixa seletividade, além de alta volatilidade. Além do mais, a toxicidade e o impacto ambiental desses solventes, somados ao alto consumo energético e à geração de resíduos perigosos, ressaltam a necessidade urgente de desenvolver alternativas mais sustentáveis e eficientes para a recuperação de compostos bioativos (1,3,5).

Nesse contexto, os Solventes Eutéticos Naturais Profundos (NADES) surgem como uma promissora classe de solventes verdes (7). Esses solventes são formados principalmente por metabólitos primários de plantas, combinando aceitadores de ligação de hidrogênio (ALH), como cloreto de colina e doadores de ligação de hidrogênio (DLH), como açúcares, álcoois, ácidos orgânicos ou aminoácidos (5). Os NADES são biodegradáveis, não tóxicos, economicamente viáveis e fáceis de preparar, surgindo como uma alternativa mais segura e sustentável aos solventes orgânicos convencionais, se alinhando à química verde. Além disso, suas propriedades físico-químicas, como viscosidade, polaridade e densidade podem ser moduladas para otimizar a solubilidade e a seletividade dos compostos-alvo (5,8).

Para intensificar ainda mais o processo de extração e superar as limitações dos métodos convencionais, a Extração Assistida por Ultrassom (EAU) tem ganhado destaque cada vez mais nos dias de hoje (6). Ela é uma técnica eficiente, segura e econômica, que utiliza ondas ultrassônicas para gerar cavitação no solvente, causando formação e implosão de microbolhas de gás, criando forças de cisalhamento e ondas de choque que promovem a ruptura das paredes celulares da matriz vegetal, aumentando a transferência de massa e a liberação de compostos bioativos (5,9). A combinação de NADES e EAU tem sido altamente eficaz e ecológica, reduzindo o consumo de solvente, tempo e energia, além de preservar ou até potencializar a bioatividade dos extratos (6,9).

Apesar do crescente interesse e dos resultados promissores envolvendo a combinação de EAU-NADES na valorização de diferentes biomassas e subprodutos agroindustriais, ainda faltam na literatura, trabalhos que reúnam e analisem, de forma ampla, os avanços nessa área (3,7). Muitos estudos vêm investigando a aplicação isolada de EAU ou de NADES na extração de compostos bioativos de subprodutos agroindustriais. No entanto, ainda são necessários mais estudos que explorem a combinação entre essas duas técnicas, visando aprofundar o entendimento sobre sua junção, harmonização dessas técnicas, vantagens e limitações na perspectiva da extração verde e da bioeconomia circular.

O presente estudo tem como objetivo realizar uma revisão sistemática sobre os avanços, aplicações e eficácia da extração verde de compostos bioativos a partir de subprodutos agroindustriais, utilizando solventes eutéticos naturais profundos assistida por ultrassom. Buscou-se identificar as matrizes vegetais estudadas, as condições otimizadas de extração, os compostos bioativos obtidos e seus potenciais em aplicações nas indústrias alimentícia, cosmética, farmacêutica e em outros setores, além de analisar como a combinação dessas técnicas pode contribuir para práticas sustentáveis e para a promoção da bioeconomia circular.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo consiste em uma revisão sistemática da literatura, conduzida de acordo com as diretrizes do PRISMA 2020 (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), conforme estabelecido por Page *et al*. (10). A elaboração da pergunta de pesquisa foi guiada pelo modelo SPIDER, o qual é reconhecido por sua adequação em revisões qualitativas, quantitativas e experimentais (11). O Quadro 1 apresenta a estrutura SPIDER utilizada, com a definição dos

componentes essenciais que fundamentaram a construção da pergunta norteadora: “Como a extração assistida por ultrassom, combinada com solventes eutéticos naturais profundos, tem sido aplicada na obtenção sustentável de compostos bioativos de matérias-primas vegetais, e quais são seus efeitos sobre rendimento?

Quadro 1: Implementação da ferramenta de estratégia de pesquisa SPIDER.

Parâmetro	Conteúdo
S *(Sample)*	Subprodutos vegetais
PI *(Phenomenon of Interest)*	Uso do NADES + EAU
D *(Design)*	Estudos experimentais com aplicação de NADES + EAU
E *(Evaluation)*	Eficiência de extração, sustentabilidade, bioatividade, bioeconomia circular
R *(Research Type)*	Quantitativa e qualitativa

Fonte: Autores, 2025.

Nota: *NADES:* solventes eutéticos naturais profundos; *EAU*: extração assistida por ultrassom.

A estratégia de busca foi elaborada de maneira sistemática e estruturada, tendo como base a pergunta de pesquisa construída a partir do modelo SPIDER. O objetivo principal foi identificar estudos científicos que abordaram a aplicação da combinação entre extração assistida por ultrassom e solventes eutéticos naturais profundos, para a obtenção sustentável de compostos bioativos de subprodutos de origem vegetal. No Quadro 2 estão dispostos os mecanismos de busca nas diferentes bases de dados.

Quadro 2: Mecanismo de busca nas bases de dados.

Base de dados	Mecanismo de busca
Periódico Capes	("ultrasound-assisted extraction" OR "ultrasonic extraction" OR "UAE") AND ("natural deep eutectic solvent" OR "NADES") AND ("bioactive compound" OR "natural product")
PubMed	("ultrasound-assisted extraction" OR "ultrasonic extraction" OR "UAE") AND ("natural deep eutectic solvent" OR "NADES")

ScienceDirect	("ultrasound-assisted extraction" OR "UAE") AND ("natural deep eutectic solvent" AND "bioactive compound") AND ("green extraction" OR "sustainable extraction")

Fonte: Autores, 2025.

As buscas foram realizadas entre 05 de junho e 07 de julho de 2025, nas bases eletrônicas Periódicos Capes, PubMed e ScienceDirect. Essas bases foram selecionadas pela quantidade de publicações e relevância nas áreas de ciência dos alimentos, química verde, tecnologias de extração e produtos naturais. Para a busca, foram utilizados descritores em inglês, combinados com operadores *booleanos AND* e *OR*, incluindo sinônimos e variações terminológicas pertinentes para cada componente do modelo SPIDER. A estratégia de busca foi adaptada às especificidades de cada base de dados, com foco em três eixos principais: (1) extração assistida por ultrassom, (2) solventes eutéticos naturais profundos e (3) compostos bioativos e sustentabilidade da extração. A busca foi restrita a artigos científicos originais publicados em periódicos revisados por pares, prioritariamente no idioma inglês, no intervalo entre 2023 e 2025. A identificação e exclusão de duplicatas foram realizadas por meio da ferramenta automática da plataforma *Rayyan*, que também foi utilizada para a triagem dos artigos.

Os critérios de inclusão e exclusão utilizados na seleção dos estudos desta revisão sistemática estão descritos no Quadro 3 e foram definidos com base na pergunta de pesquisa. Esses critérios têm como objetivo orientar a escolha dos estudos mais relevantes, estabelecendo os parâmetros necessários para que sejam considerados pertinentes à revisão.

Quadro 3: Critérios de inclusão e exclusão nas bases de dados.

Critérios de inclusão	Critérios de Exclusão
Estudos publicados entre 2023 e 2025 para sua revisão.	Publicações anteriores a 2023
Trabalhos que envolvam extração verde combinada, especialmente UAE +NADES.	Estudos que utilizam apenas métodos convencionais sem qualquer abordagem verde combinada.
Estudos com foco na recuperação de compostos bioativos de matrizes vegetais.	Trabalhos sobre extração de compostos exclusivamente minerais ou metálicos, não bioativos.
Publicações em periódicos indexados ou com DOI (*Digital Object Identifier*) registrado.	Documentos sem revisão por pares.
Apenas artigos publicados em inglês.	Artigos duplicados ou

	redundantes encontrados em diferentes bases de dados.

Fonte: Autores, 2025.

Após a seleção dos estudos elegíveis, foi realizada a análise de conteúdo com foco na extração das seguintes informações principais: ano de publicação, autores, tipo de matriz vegetal ou subproduto analisado, composição do NADES, condições do processo de extração assistida por ultrassom, rendimento de compostos bioativos, bem como avaliações de atividade antioxidante ou outras propriedades funcionais.

A síntese dos dados foi conduzida de forma narrativa e descritiva, dado que os estudos incluídos apresentaram significativa heterogeneidade metodológica, especialmente quanto às condições operacionais e às formulações dos solventes. Dessa forma, foi realizada uma abordagem comparativa qualitativa, conforme adotado por Roobab *et al*., (3), onde analisaram estudos sobre extração verde.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo de busca e seleção dos artigos está ilustrado no fluxograma PRISMA apresentado na Figura 1. Inicialmente, foram identificados 362 registros nas bases de dados ScienceDirect (266), PubMed (53) e Periódico Capes (43). Após a remoção de 138 registros duplicados, restaram 224 registros para triagem. Dentre esses, 168 estudos foram excluídos por apresentarem títulos irrelevantes ao tema da revisão. Assim, 56 registros seguiram para avaliação específica dos resumos e textos completos. Após análise detalhada, foram excluídos 30 artigos por se tratar de revisões de literatura, 5 por apresentarem objeto de estudo semelhante a outros trabalhos já incluídos, e 6 por não abordarem a combinação de extração assistida por ultrassom com solventes eutéticos naturais.

Foram, portanto, incluídos 15 estudos na presente revisão, sendo provenientes das seguintes bases: ScienceDirect (7), PubMed (4) e Periódico Capes (4). Os estudos incluídos foram publicados entre 2023 e 2025, e abordaram a extração de compostos bioativos, como fenólicos e flavonóides, utilizando a combinação de EAU+NADES em diferentes matrizes vegetais de subprodutos agroindustriais.

Os resultados desta revisão sistemática mostraram que a combinação entre extração assistida por ultrassom e solventes eutéticos naturais profundos é uma abordagem verde, eficiente e versátil para a recuperação de compostos bioativos, especialmente a partir de subprodutos agroindustriais. Os 15 estudos analisados revelaram uma ampla diversidade de matrizes vegetais, solventes e compostos extraídos, com rendimentos significativos e potencial funcional dos extratos, como mostrado na Tabela 1. ArieStanti *et al.* utilizaram rizomas de cúrcuma-javanesa e três diferentes sistemas NADES, destacando-se o ChCl:ácido málico (1:1), que resultou em 4,58 mg/g de curcuminoides e 12,93 mg/g de xantorrizol (12). Os extratos apresentaram atividade citotóxica seletiva contra células HeLa e baixa toxicidade para células HaCaT, demonstrando aplicação potencial em produtos funcionais com ação antitumoral.

Já Cao *et al.*, ao trabalharem com folhas de brócolis, mostraram que o sistema ChCl:propilenoglicol produziu 4,91 mg GAE/g de fenólicos totais e atividade antimicrobiana contra

patógenos alimentares, atribuindo-se o desempenho à baixa viscosidade do solvente que favoreceu a difusão (13). Chaudhary *et al.* investigaram a extração de compostos bioativos de *Spirulina platensis* e casca de laranja, obtendo extratos ricos em antioxidantes por meio de EAU-NADES (ChCl:ácido lático), que foram utilizados no desenvolvimento de uma bebida funcional à base de morango e melão. Esses autores obtiveram rendimento que variou de 36,51 mg GAE/g a 33,46 mg GAE/g para spirulina e casca de laranja, respectivamente, demonstrando a viabilidade da aplicação direta dos extratos em formulações alimentícias (14).

Domínguez-Rodríguez *et al*., por sua vez, compararam EAU e NADES em cascas de citros (toranja, limão e lima) e obtiveram rendimento de CFT de 39,2 mg GAE/g, 38,3 mg GAE/g e 21 mg GAE/g, respectivamente. A combinação EAU-NADES se destacou, promovendo extração superior de compostos fenólicos e flavonoides, reforçando o efeito harmônico das técnicas verdes em comparação a métodos isolados (15).

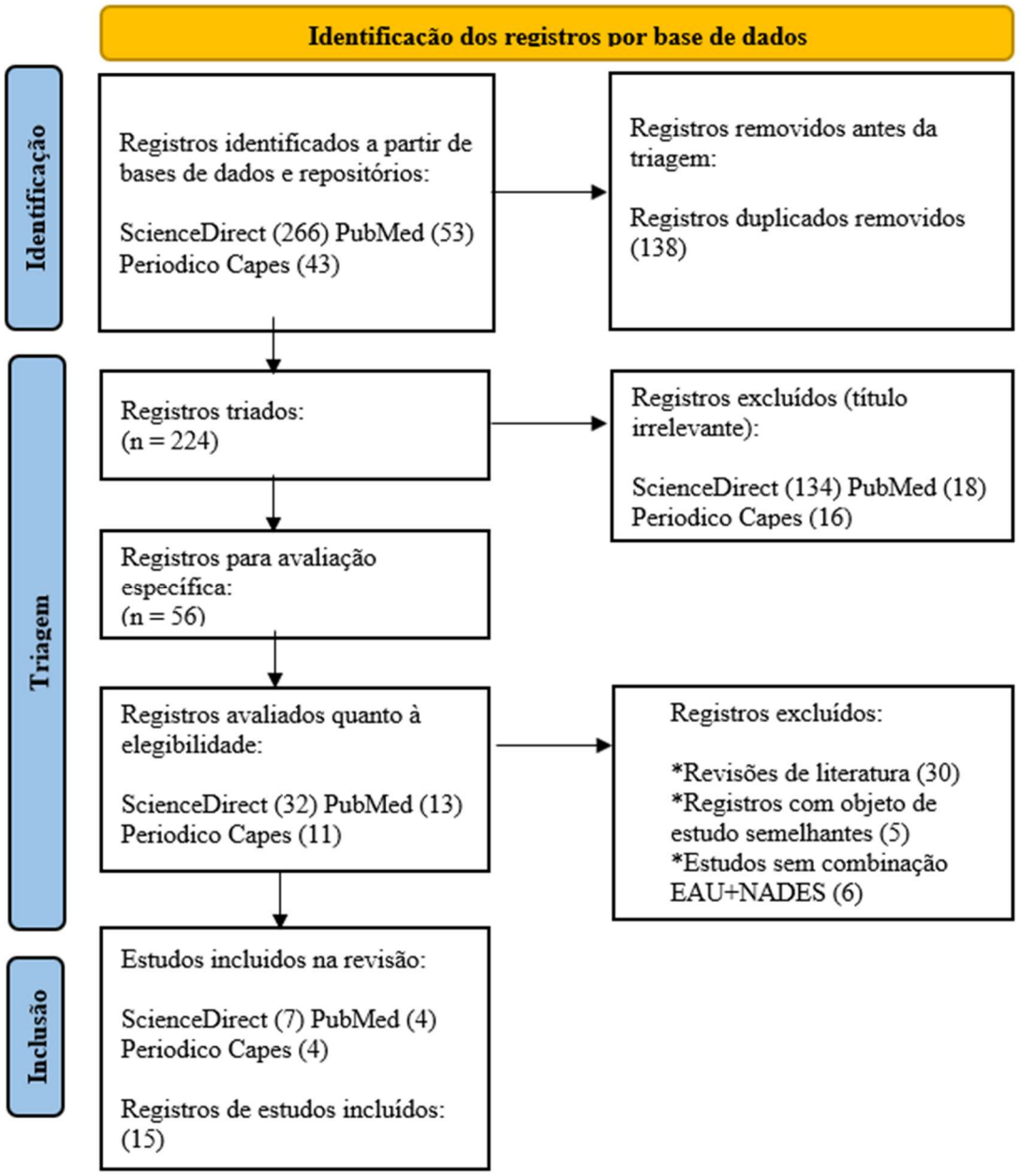


Figura 1 – Fluxograma Prisma

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

Já Grisales-Mejía *et al.,* utilizaram resíduos de abacate Hass e sistemas NADES otimizados para a extração de compostos fenólicos, obtendo altos rendimentos com excelente seletividade, variando de 148 mg GAE/g a 65 mg GAE/g utilizando cloreto de colina com frutose e ácido lático, respectivamente. O estudo destaca a adaptação do NADES à polaridade dos compostos-alvo e à natureza da matriz (4). Khalid *et al.,* apresentaram uma proposta inovadora ao aplicar pré-tratamento com plasma frio seguido de EAU-NADES em raízes de grão-de-bico, utilizando o sistema ChCl:ácido cítrico. Com isso, alcançaram 46,04 mg GAE/g de fenólicos totais, evidenciando como tecnologias emergentes podem atuar de forma sinérgica para otimizar processos extrativos sustentáveis (16).

Foi evidenciado por Lima *et al.*, os maiores rendimentos, em termos de CFT da revisão ao utilizarem resíduos de araçá-roxo com NADES de ChCl:glicerol (1:2), obtendo 1045,15 mg GAE/g de CFT. A análise LC-MS identificou 26 compostos, incluindo catequina, ácido p-anísico e isoquercetina, demonstrando a eficácia da técnica tanto em quantidade quanto em diversidade fitoquímica (17). Oliveira *et al.*, ao explorarem casca de romã, aplicaram extração por pressão seguida de EAU-NADES com ChCl:glicerol (1:2), resultando em 413 mg GAE/g de CFT e extração seletiva de ácido elágico e punicalaginas, compostos bioativos com reconhecida atividade antioxidante (1).

Ozkan estudando a valorização de pétalas externas de alcachofra, obteve rendimentos elevados de ácido clorogênico e luteolina com EAU-NADES (ChCl:glicerol), 12,96 mg GAE/g que se mostraram 130% superiores ao método de maceração convencional. O trabalho evidencia o potencial de resíduos florais na recuperação de compostos funcionais (18). Peng *et al.*utilizaram folhas de *Moringa oleifera* e o sistema Bet-ureia (1:2), obtendo 54,69 mg RE/g de conteúdo total de flavonoides (CTF), 1,7 vezes mais que o método tradicional. A adição de 50% de água ao sistema reduziu a viscosidade e preservou compostos sensíveis, demonstrando a importância do ajuste de parâmetros físico-químicos (19).

Plaza e Marina empregaram o sistema ChCl:ácido cítrico (1:1) na extração de compostos antioxidantes do bagaço de laranja, obtendo CFT elevado e alta atividade antioxidante medida pelos métodos DPPH e ABTS, e valores de 440 mg de epicatequina e 229 mg/100 g de hesperidina. Assim, confirmando a aplicabilidade de resíduos cítricos como ingredientes funcionais sustentáveis (2). Rashid *et al.*, por sua vez, utilizaram bagaço de maçã e EAU-NADES para obter 5,6 mg GAE/g de CFT, comparado a 4,5 mg GAE/g com etanol. Santos-Martín *et al.,* extraíram compostos fenólicos de folhas de mirtilo com NADES e ultrassom, obtendo CFT de 142,5 mg GAE/g e 195, 5 mg GAE/g para os NADES ácido lático: acetato de sódio: água e cloreto de colina: ácido oxálico, respectivamente (5,20).

O estudo de Sun *et al*., com sementes de *Cabernet Sauvignon*, alcançaram 135,78 mg GAE/g de CFT, com catequina como composto majoritário (41,14 mg/g). O extrato demonstrou atividade antifúngica contra *Alternaria alternata*, sendo eficaz em concentrações inferiores às de métodos convencionais (21). Por fim, Wang *et al.*, utilizaram bagaço de uva e mostraram que a EAU-NADES aumentou em 95,84% a extração de procianidinas em relação à extração assistida por calor, evidenciando o potencial dessa técnica para a valorização de resíduos vinícolas, sendo 48,36 mg GAE/g, o rendimento de CFT e 41,28 mg CE/g, o rendimento experimental de Procianidinas (6). De forma geral, os estudos apontam que o cloreto de colina (ChCl) foi o ALH mais recorrente, geralmente combinado com ácidos orgânicos como málico, cítrico e lático, ou álcoois como glicerol e propilenoglicol.

Tabela 1: Características gerais dos estudos incluídos na revisão.

Autor/Ano	Matriz vegetal	Tipo de NADES	Proporção molar	Parâmetros EAU	Bioatividade avaliada	Rendimento (CFT, CTF, outro)
Ariestanti *et al.* (2025)	Rizoma de açafrão-da-índia	ChCl:Ma	1:1	60 kHz/ 15minutos	citotoxicidade *in vitro e* compostos específicos	4,58 mg/g de curcuminoides e 12,93 mg/g de xantorrizol
Cao *et al.* (2023)	Folhas de brócolis	ChCl:Pg	1:2	20 kHz/ 31,4 minutos	Antioxidante e CFT	4,91 mg GAE/g
Chaudhary *et al.* (2025)	Spirulina e casca de laranja	ChCl:La	2:1	25 kHz/ 30 minutos.	Antioxidante e CFT	(36,51 mg GAE/g) e 33,46 mg GAE/g
Domínguez-Rodríguez *et al.* (2025)	Cascas de toranja e limão - lima	(ChCl:Ta) - (ChCl:Gly)	1:2	40 kHz/ 50 minutos.	Antioxidante, CFT e Anticolinérgica	(39,2 mg GAE/g e 38,3 mg GAE/g) - (21 mg GAE/g)
Grisales-Mejía *et al.* (2024)	Resíduo de abacate Hass	ChCl:Fru e ChCl:La	1:1	40 kHz/ 30 minutos.	Antioxidante e CFT	ChCl:Lac (148 mg GAE/g) e ChCl:Fru (65 mg GAE/g)

(Continuação)

Khalid *et al*. (2025)	Raízes de grão-de-bico	ChCl:Ca	2:1	50 mg/30 minutos.	Antioxidante e CFT	46,04 mg GAE/g
Lima *et al*. (2024)	Resíduo de araçá-roxo	ChCl:Gly	1:2	37 kHz/ 60 minutos.	Antioxidante, CFT e Antidiabética	1045,15 mg GAE/g
Oliveira *et al*. (2024)	Casca de romã	ChCl:Gly	1:2	500 mg/ 50 minutos.	CFT e Compostos específicos	413 mg GAE/g
Ozkan, G. (2023)	Pétalas externas de alcachofra	ChCl-La	1:2	37 kHz/ 30 minutos	Antioxidante e CFT	12,96 mg GAE/g
Peng *et al*. (2024)	Folhas de Moringa	Bet-Urea	1:2	37 kHz/ 33 minutos	Antioxidante, Fenólicos e CTF	54,69mg RE/g
Plaza & Marina (2025)	Bagaço de laranja	ChCl:La	1:2	60%/ 14 minutos	Conteúdo de proantocianidinas e hesperidina	440 mg de epicatequina e 229 mg/100 g
Rashid *et al*. (2023)	Bagaço de maçã	ChCl:Gly	1:2	75%/ 40 minutos	Antioxidante, CFT e CTF	5.8 mg GAE/g
Santos-Martín *et al*. (2023)	Folhas de mirtilo	(La:AcNa:W e ChCl:Ox)	(3:1:2 e 1:1)	40 kHz/ 45 minutos	Antioxidante, CFT e Antocianinas	142,5 mg GAE/g DBL e 195, 5 mg GAE/g DBL

11

(Continuação)

Sun *et al.* (2024)	Sementes de *Cabernet Sauvignon*	ChCl-Ca	1:2	320 W/ 20 minutos	Antioxidante, TPC e Composição dos SPSU	135.78 mg GAE/g
Wang *et al.* (2025)	Bagaço de uva	ChCl:Gly	1:1	20 kHz/ 9 minutos	Antioxidante, CFT e CFT	48.36 mg GAE/g, 41.28 mg CE/g

*CTF = conteúdo total de flavonoides; CFT = conteúdo de fenólicos totais; SPSU = solução de polifenóis da semente de uva.

A adição de água, geralmente entre 20% e 50%, foi uma estratégia comum para reduzir a viscosidade dos NADES e facilitar a penetração nos tecidos vegetais, embora seu excesso possa comprometer a estrutura supramolecular do solvente e reduzir sua eficiência extrativa (15,19). Além dos rendimentos elevados de CFT, CTF, flavonoides, curcuminoides, catequinas e procianidinas, os extratos também apresentaram diversas atividades funcionais, como: antioxidante, antimicrobiana, antifúngica, citotóxica seletiva, antidiabética e neuroprotetora, reforçando assim a viabilidade da aplicação desses compostos nas indústrias alimentícia, cosmética e farmacêutica. A combinação de EAU-NADES mostrou-se particularmente eficaz na extração de compostos bioativos sensíveis ao calor, com economia de solvente e energia.

CONCLUSÃO

A presente revisão sistemática confirmou que a combinação entre extração assistida por ultrassom e solventes eutéticos naturais profundos é uma estratégia eficiente, sustentável e versátil para a recuperação de compostos bioativos, especialmente a partir de subprodutos agroindustriais. Os estudos analisados demonstraram rendimentos elevados, manutenção da bioatividade dos extratos e vantagens claras em relação aos métodos convencionais. A escolha adequada do NADES e a otimização dos parâmetros da EAU foram determinantes para o sucesso das extrações. Além disso, os extratos obtidos apresentaram diversas atividades funcionais, com potencial de aplicação nas indústrias alimentícia, cosmética e farmacêutica. Recomenda-se que estudos futuros explorem a escalabilidade dos processos, a segurança dos extratos e novas combinações de NADES com foco na seletividade. A técnica EAU-NADES mostra-se alinhada com os princípios da química verde e com a promoção da bioeconomia circular, sendo uma alternativa promissora para a valorização de resíduos e desenvolvimento de produtos funcionais.

AGRADECIMENTOS

UFRPE, FACEPE e CAPES.

REFERÊNCIAS

1. OLIVEIRA, Isadora Lopes de *et al.* Advanced Extraction Techniques Combined with Natural Deep Eutectic Solvents for Extracting Phenolic Compounds from Pomegranate (Punica granatum L.) Peels. International Journal of Molecular Sciences, v. 25, p. 9992, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.3390/ijms25189992. Acesso em 06/06/2025.

2. PLAZA, Merichel; MARINA, Maria Luisa. Natural deep eutectic solvents and ultrasound-assisted extraction for the recovery of antioxidant phenolic compounds from orange pomace. Microchemical Journal, v. 212, p. 113366, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.microc.2025.113366. Acesso em 06/06/2025.

3. ROOBAB, Ume *et al.* Comparative evaluation of ultrasound-assisted extraction with other green extraction methods for sustainable recycling and processing of date palm bioresources and by-products: A review of recent research. Ultrasonics Sonochemistry, v. 114, p. 107252, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2025.107252. Acesso em 07/06/2025.

4. GRISALES-MEJÍA, Juan F. *et al.* Advanced NADES-based extraction processes for the recovery of phenolic compounds from Hass avocado residues: A sustainable valorization strategy. Separation and Purification Technology, v. 351, p. 128104, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.128104. Acesso em 09/06/2025.

5. RASHID, Rubiya *et al.* Green extraction of bioactive compounds from apple pomace by ultrasound assisted natural deep eutectic solvent extraction: Optimisation, comparison and bioactivity. Food Chemistry, v. 398, p. 133871, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133871. Acesso em 09/06/2025.

6. WANG, Changsen *et al.* Efficient recovery of procyanidins from grape residue by UAE-NADES and macroporous resin. Ultrasonics Sonochemistry, v. 119, p. 107400, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2025.107400. Acesso em 08/06/2025.

7. CANNAVACCIUOLO, Ciro *et al.* Critical analysis of green extraction techniques used for botanicals: Trends, priorities, and optimization strategies-A review. Trends in Analytical Chemistry, v. 173, p. 117627, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.trac.2024.117627. Acesso em 10/06/2025.

8. ZEB, Liaqat *et al.* Ultrasonic-Assisted Water-Rich Natural Deep Eutectic Solvents for Sustainable Polyphenol Extraction from Seaweed: A Case Study on Cultivated Saccharina latissima. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, v. 12, n. 30, p. 14921-14929, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.4c06736. Acesso em: 07 jul. 2025. Acesso em 10/06/2025.

9. PEREIRA, Thiago C. *et al.* Trends and perspectives on the ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds using natural deep eutectic solvents. Current Opinion in Chemical Engineering, v. 47, p. 101088, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.coche.2024.101088. Acesso em 11/06/2025.

10. PAGE, Matthew J. *et al.* The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ, v. 372, n. 71, p. 1-9, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1136/bmj.n71. Acesso em 05/06/2025.

11. FAPPA, Evaggelia; MICHELI, Mary. Content accuracy and readability of dietary advice available on webpages: a systematic review of the evidence. Journal of Human Nutrition and Dietetics, (S.l.), v. 38, e13395, 2025. DOI: https://doi.org/10.1111/jhn.13395.Acesso em 05/06/2025.

12. ARIESTANTI, Donna Maretta *et al.* Ultrasonic-assisted extraction (UAE) of Javanese turmeric rhizomes using natural deep eutectic solvents (NADES): Screening, optimization, and in vitro cytotoxicity evaluation. Ultrasonics Sonochemistry, v. 114, p. 107271, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2025.107271. Acesso em 15/06/2025.

13. CAO, Yinjuan *et al.* Green ultrasound-assisted natural deep eutectic solvent extraction of phenolic compounds from waste broccoli leaves: Optimization, identification, biological activity, and structural characterization. LWT - Food Science and Technology, v. 190, p. 115407, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115407. Acesso em 15/06/2025.

14. CHAUDHARY, Kashmala *et al.* Ultrasound assisted natural deep eutectic solvents based sustainable extraction of Spirulina platensis and orange peel extracts for the development of strawberry-cantaloupe based novel clean-label functional drink. Ultrasonics Sonochemistry, v. 118, p. 107357, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2025.107357. Acesso em 15/06/2025.

15. DOMÍNGUEZ-RODRÍGUEZ, Gloria *et al.* Sustainable strategies to obtain bioactive compounds from citrus peels by supercritical fluid extraction, ultrasound-assisted extraction, and natural deep eutectic solvents. Food Research International, v. 202, p. 115713, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.115713. Acesso em 14/06/2025.

16. KHALID, Waseem *et al.* Optimization of the effect of cold plasma treatment on UAE-NADES green extraction of chickpea roots (Cicer arietinum) bioactive compounds. Ultrasonics Sonochemistry, v. 114, p. 107276, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2025.107276. Acesso em 14/06/2025.

17. LIMA, Natália Duarte de *et al.* Green extraction of phenolic compounds from the by-product of purple araçá (Psidium myrtoides) with natural deep eutectic solvents assisted by ultrasound: Optimization, comparison, and bioactivity. Food Research International, v. 191, p. 114731, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114731. Acesso em: 10 jun. 2025.

18. OZKAN, Gulay. Valorization of artichoke outer petals by using ultrasound-assisted extraction and natural deep eutectic solvents (NADES) for the recovery of phenolic compounds. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 103, n. 13, p. 2744-2756, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1002/jsfa.13158. Acesso em: 11 jun. 2025.

19. PENG, Weilong *et al.* Comparison, optimization and antioxidant activity of ultrasound-assisted natural deep eutectic solvents extraction and traditional method: A greener route for extraction of flavonoid from Moringa oleifera Lam. leaves. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 109, p. 107003, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.107003. Acesso em: 05 jul. 2025.

20. SANTOS-MARTÍN, María *et al.* Ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from blueberry leaves using natural deep eutectic solvents (NADES) for the valorization of agrifood wastes. **Biomass and Bioenergy**, v. 175, 106882, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2023.106882. Acesso em: 11 jun. 2025.

21. SUN, Pengcheng *et al.* Effects of ultrasonic-assisted natural deep eutectic solvent on the extraction rate, stability and antifungal ability of polyphenols from Cabernet Sauvignon seeds. **Food Research International**, v. 191, p. 114674, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114674. Acesso em: 04 jul. 2025.

FARINHA DE MANGA VERDE COMO ALTERNATIVA NUTRICIONAL EM BISCOITOS SEM GLÚTEN: CARACTERIZAÇÃO E EFEITO NAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS

GREEN MANGO FLOUR AS A NUTRITIONAL ALTERNATIVE IN GLUTEN-FREE BISCUITS: CHARACTERIZATION AND EFFECT ON TECHNOLOGICAL PROPERTIES

DOI: 10.65747/conali2025v3c13

Marlene Bampi[1]; Flavia Cristina Franceschetto[2]; Marcia Bar Schuster[3]; Andréia Zílio Dinon[4]; Dulcineia Triches[5], Marina Volpato Dacoreggio[6]

[1]Docente do Depto de Engenharia de Alimentos e Engenharia Química – CEO – UDESC; marlene.bampi@udesc.br.

[2]Estudante do Curso de Engenharia de Alimentos - CEO – UDESC.

[3,4]Docente do Depto de Engenharia de Alimentos e Engenharia Química – CEO – UDESC.

[5,6]Pesquisador do Núcleo de Ciência, Tecnologia e Inovação do Leite – NCTI – UDESC.

Resumo: A utilização de farinha de manga verde como substituto parcial de ingredientes convencionais em formulações alimentícias tem se destacado como uma alternativa promissora para o desenvolvimento de produtos com maior valor nutricional e funcional. Este estudo teve como objetivo desenvolver biscoitos sem glúten utilizando farinha da polpa da manga verde *Tommy Atkins*. A farinha foi obtida por secagem em estufa com circulação de ar a 60 °C por 24 horas e caracterizada quanto à granulometria, pH, acidez titulável, atividade de água (Aw), cor, umidade, lipídeos, cinzas, proteínas, carboidratos e amido resistente. Foram elaboradas quatro formulações de biscoitos sem glúten, com 0% (controle), 10%, 20% e 30% de substituição da farinha de arroz pela farinha de manga verde, seguindo as Boas Práticas de Fabricação (BPF). Os biscoitos foram avaliados quanto a pH, acidez titulável, Aw, cor, umidade, lipídeos, cinzas, proteínas, carboidratos, diâmetro, espessura, textura, densidade aparente, adsorção e microscopia. A farinha apresentou características favoráveis, como baixa atividade de água (0,384), pH ácido (3,31), alto teor de carboidratos, amido resistente (1,9 g/100 g) e conteúdo mineral relevante, o que contribui para a estabilidade microbiológica e qualidade nutricional do produto final. Os biscoitos elaborados atenderam aos parâmetros estabelecidos pela legislação quanto à acidez, umidade e teor de cinzas. Não foram observadas diferenças significativas entre as formulações quanto aos teores de Aw, lipídeos, proteínas, espessura e densidade aparente. Os resultados indicam que a farinha da polpa da manga verde é uma alternativa viável para enriquecimento nutricional e funcional de biscoitos sem glúten.

Palavras–chave: amido resistente; biscoitos sem glúten; farinha de manga verde; ingredientes funcionais; valorização de subprodutos

Abstract: The use of green mango flour as a partial substitute for conventional ingredients in food formulations has emerged as a promising alternative for developing products with enhanced nutritional and functional value. This study aimed to develop gluten-free cookies using flour from unripe *Tommy Atkins* mango pulp. The flour was obtained by drying the pulp in a forced-air oven at 60 °C for 24 hours and was characterized for particle size distribution, pH, titratable acidity, water activity (Aw), color, moisture, lipids, ash, proteins, carbohydrates, and resistant starch. Four gluten-free cookie formulations were prepared with 0% (control), 10%, 20%, and 30% substitution of rice flour with mango pulp flour, following Good Manufacturing Practices (GMP). The cookies were evaluated for pH, titratable acidity, Aw, color, moisture, lipids, ash, proteins, carbohydrates, diameter, thickness, texture, bulk density, adsorption, and microscopy. The flour exhibited favorable properties, including low water activity (0.384), acidic pH (3.31), high carbohydrate content, resistant starch (1.9 g/100 g), and relevant mineral content, contributing to microbiological stability and improved nutritional quality of the final product. The cookies complied with legal standards regarding acidity, moisture, and ash content. No significant differences were observed among formulations for Aw, lipids, proteins, thickness, and bulk density. The results suggest that green mango pulp flour is a viable alternative for the nutritional and functional enrichment of gluten-free cookies.

Keywords: By-product valorization; functional ingredientes; green mango flour; gluten-free cookies; resistant starch

INTRODUÇÃO

A busca por alimentos saudáveis e funcionais tem crescido exponencialmente nos últimos anos, impulsionando a pesquisa e o desenvolvimento de novos produtos alimentícios. Segundo dados recentes da Organização Mundial da Saúde (1), aproximadamente 1% da população mundial sofre de doença celíaca, uma condição autoimune desencadeada pela ingestão de glúten - proteína presente em cereais como trigo, centeio, cevada e malte. O consumo desses cereais por indivíduos celíacos provoca danos à mucosa intestinal, comprometendo a absorção de nutrientes e causando diversos sintomas gastrointestinais (2). Esta realidade reforça a necessidade urgente de desenvolver alternativas alimentares seguras e nutricionalmente adequadas para este grupo populacional.

No contexto regulatório brasileiro, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) define farinhas como "produtos obtidos de partes comestíveis de cereais, leguminosas, frutos, sementes, tubérculos ou rizomas, por moagem ou outros processos tecnológicos seguros" (3). Dentro deste amplo espectro de possibilidades, as farinhas derivadas de frutas e vegetais emergem como alternativas particularmente promissoras. Estas não apenas permitem a elaboração de diversos produtos de panificação (como pães, bolos e biscoitos), mas também representam uma forma eficiente de aproveitamento de matérias-primas sazonais, reduzindo desperdícios e agregando valor nutricional (4).

O contínuo avanço da indústria alimentícia, aliado ao aumento do consumo de produtos industrializados, tem criado uma demanda crescente por alimentos que combinem praticidade, acessibilidade e qualidade nutricional. Neste cenário, diversos estudos têm investigado a substituição total ou parcial da farinha de trigo em produtos de panificação, seja para melhorar seu perfil nutricional, seja para atender a grupos com necessidades específicas, como celíacos ou consumidores em busca de alimentos ricos em fibras e compostos bioativos (5).

Entre as diversas alternativas investigadas, a farinha de manga verde se destaca por seu conteúdo significativo de Amido Resistente (AR) e fibras alimentares. Estes compostos apresentam importantes benefícios fisiológicos, contribuindo para a redução do Índice Glicêmico (IG) dos alimentos e para a modulação das respostas glicêmica e insulinêmica (6). O AR, em particular, atua como uma fibra insolúvel que auxilia na redução do risco de doenças cardiovasculares e no controle de peso corporal, uma vez que retarda a absorção de lipídios e carboidratos, além de promover sensação de saciedade prolongada (7).

Diante deste contexto, o presente trabalho teve como objetivo principal desenvolver biscoitos sem glúten nutricionalmente enriquecidos, utilizando farinha de manga verde Tommy Atkins como substituto parcial da farinha de arroz. Além da elaboração do produto, foram caracterizadas suas propriedades físico-químicas e tecnológicas, avaliando seu potencial de aplicação na indústria alimentícia. Esta pesquisa não apenas busca oferecer uma alternativa inovadora e segura para indivíduos celíacos, mas também pretende agregar valor a um subproduto agrícola frequentemente subutilizado, contribuindo para o desenvolvimento de alimentos mais nutritivos e sustentáveis. Os resultados obtidos poderão fornecer subsídios valiosos tanto para a indústria alimentícia quanto para futuras pesquisas sobre o aproveitamento de farinhas não convencionais em produtos de panificação, abrindo novas perspectivas no campo da tecnologia de alimentos.

MATERIAL E MÉTODOS

Matérias-primas

As mangas verdes da espécie *Tommy Atkins* e os ingredientes necessários para a elaboração dos biscoitos (amido, farinha de milho, farinha de arroz, ovos, manteiga, açúcar refinado e fermento químico em pó) foram adquiridos no mercado local.

Obtenção da farinha de manga verde

As mangas verdes foram lavadas e sanitizadas com hipoclorito de sódio (200 mg L^{-1}) por 15 minutos e, em seguida enxaguadas com água corrente. As mangas foram descascadas e cortadas em paralelepípedos com aproximadamente de 4 cm de comprimento de 2,5 cm de largura e 0,5 mm de espessura, e secas em estufa (modelo CIENLAL) com circulação de ar à 60 °C por 24 horas. Após a secagem, as amostras de manga foram trituradas em moinho de faca (modelo IKA A11 basic), obtendo-se a farinha, a qual foi acondicionada em embalagem plástica específica para alimentos, vedada, e armazenada em geladeira à 5 °C até o momento das análises.

Processamento dos biscoitos sem glúten

Os biscoitos foram elaborados com base na formulação de Galhardo (8) com modificações. Em que a farinha de arroz foi substituída pela farinha de manga verde em diferentes concentrações (0%, 10%, 20% e 30%). Na Tabela 1 são apresentadas as quatro formulações dos biscoitos: FI = 0%, FII = 10%, FIII = 20% e FIV = 30%. A Formulação I (FI) e a formulação padrão sem a adição de farinha de manga verde.

Tabela 1 – Formulações com diferentes concentrações de farinha de manga verde em substituição da farinha de arroz

	Formulações			
Ingredientes % (g/100g)	FI (0%)	FII (10%)	FIII (20%)	FIV (30%)
Farinha de arroz	18,4	16,5	14,7	12,9
Farinha de manga verde	-	1,8	3,7	5,5
Farinha de milho	18,4	18,4	18,4	18,4
Açúcar	18,3	18,3	18,3	18,3
Amido	18,4	18,4	18,4	18,4
Manteiga	18,3	18,3	18,3	18,3
Ovo	7,3	7,3	7,3	7,3
Fermento químico	0,9	0,9	0,9	0,9

Fonte: Autores (2025)

Os biscoitos foram moldados manualmente, pesando aproximadamente 10g, e assados em forno (marca Fischer) a 125 °C por 15 minutos. Após assados, os biscoitos foram resfriados em temperatura ambiente por 30 minutos e armazenados em sacos plásticos, específicos para alimentos, sob refrigeração à 5 °C até o momento das análises.

Análises físico-químicas

As amostras de amostras de farinha de manga verde e de biscoitos foram caracterizadas através de análises físico-químicas. O teor de umidade foi determinado em estufa (Solab, SL-100) 105 °C por 24 horas conforme o método nº 925.09 (9). O teor de cinzas foi determinado por queima em mufla (marca Quimis modelo Q318M4ST) a 550 °C por 24 horas, seguindo o método n° 920.153 (9). O teor de proteína foi determinado pelo método de Kjeldahl com fator de conversão de N = 6,25, de acordo com o método nº 991.20 (9). O teor de lipídios total foi determinado pelo método de Soxhlet, utilizando éter de petróleo, segundo o método nº 963.15 (9). O teor de AR foi determinado, segundo a metodologia AOAC (9). O teor de carboidratos foi determinado por diferença, segundo a conversão de AtWater. Acidez titulável foi determinada pelo método 942.15 (9), expressa g de ácido cítrico/100 g. O pH foi determinado, utilizando pHmetro (modelo ION pHB 500). A atividade de água (Aw) foi determinada em um medidor de Aw (Aqualab® Pre Decagon Devices,USA). Os parâmetros de cor foram determinados utilizando o colorímetro MiniScan (HunterLab, model EZ, Reston, VA, USA), e a cor foi expressa pelo sistema de coordenadas CIELAB, pela determinação dos parâmetros L* (preto/branco), a* (verde/vermelho) e b* (azul/amarelo) definido pelo

CIE (Industrial colour-difference evaluation). O ΔE foi avaliado conforme a escala de variação da diferença total de cores. As isotermas de sorção foram determinadas pelo método gravimétrico estático. Em que sete soluções salinas saturadas foram preparadas com LiCl, CH_3COOK, K_2CO_3, $Mg(NO_3)_2$, KI, NaCl, KCl e $BaCl_2$ para fornecer valores de umidade relativa de 11,3%, 22,6%, 43,2%, 52,9%,68,9%, 75,3%, 84,3% e 90,2%, respectivamente, em frascos herméticos (10). Em cada frascos foram acondicionadas três amostras de farinha de manga verde e três de biscoito de cada formulação. E eles foram armazenados em ambiente com temperatura controlada de 25°C. Em intervalos de 24 h, as amostras foram pesadas, em balança analítica até atingirem o equilíbrio (aproximadamente 20 dias). Depois de atingido o equilíbrio, a umidade das amostras foi determinada através do método gravimétrico. A umidade de equilíbrio das amostras foi calculada somando-se a quantidade de água adsorvida ao teor de umidade inicial de cada amostra.

Para as amostras de farinhas, ainda foi realizada a análise de granulometria através de agitador de peneiras eletromagnético (marca Lucadema modelo luca-04/01), com agitação por 15 minutos a 7,5 RMP, utilizando aproximadamente 50 g de amostra. As peneiras utilizadas apresentavam abertura de 14 mesh, 28 mesh, 35 mesh, 48 mesh e 100 mesh. No final do processo realizou-se a pesagem das amostras em cada peneira para o cálculo do percentual e granulometria (%).

Nas amostras de biscoito ainda foram realizadas as análises de textura (firmeza), densidade aparente e microscopia. A análise de textura, com determinação de firmeza foi realizada em texturômetro (marca Stable Micro Systems) com oito repetições para cada formulação de biscoito. Os parâmetros utilizados nos testes foram: velocidade pré-teste = 1,0 mm/s, velocidade de teste = 3,0 mm/s, velocidade pós-teste = 10,0 mm/s, distância de 4,0 mm, com medida de força em compressão. Os resultados de firmeza foram expressos em newtons (N). A massa dos biscoitos, após a cocção, foi determinada em balança analítica (marca weblabor sp modelo MG254Ai) e as dimensões (diâmetro e a espessura) com o auxílio de um paquímetro. A densidade aparente foi determinada pelo método AACCI n° 10-05.01 (11) através do deslocamento de sementes de painço e expresso em g /cm3. Análise de microscopia.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Diferenças significativas entre as médias dos tratamentos foram avaliadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) utilizando o programa STATISTICA (versão 7.0).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises físico-químicas da farinha de manga verde (Tabela 2) demonstraram características importantes para sua aplicação tecnológica. O teor de umidade (13,5 g/100g) ficou próximo, mas abaixo do limite máximo de 15% estabelecido pela RDC 263/2005 (3) para farinhas. Comparativamente, estudos anteriores com diferentes frações da manga Tommy Atkins reportaram valores inferiores: 8,17% para farinha de casca (12) e 4,81% para farinha de fibra (13), indicando que o processamento da polpa resulta em maior retenção hídrica.

Tabela 2 - Caracterização físico-química da farinha de manga verde

Parâmetros	Farinha de Manga
Umidade (g/100 g)	13,5 ± 0,08
Cinzas (g/100 g)	1,30 ± 0,3
Proteínas (g/100 g)	3,90 ± 0,12
Lipídios (g/100 g)	0,42 ± 0,06
Amido Resistente	1,9 ± 0,10
Carboidratos	80,88
Acidez	4,20 ± 0,05
pH	3,31 ± 0,01
Aw	0,384 ± 0,002
L*	70,65 ± 0,47
a*	4,69 ± 0,19
b*	42,67 ± 0,73

Fonte: Autores, 2025

O teor de cinzas (1,30 g/100g) atendeu à legislação vigente (IN 8/2005), que estabelece máximo de 1,5% para farinhas. Nota-se que este valor foi inferior aos reportados para farinha de casca (3,13%) e fibra (2,30%) da mesma variedade de manga (12,13), sugerindo diferenças na composição mineral entre as frações do fruto.

A análise proteica revelou teor de 3,90 g/100g, superior ao encontrado por Galhardo (8) para farinha de casca (2,53 g/100g). Os lipídios (0,42 g/100g) apresentaram valor próximo ao reportado por Láscaris et al. (2019) (13) para farinha de fibra (0,62%). O conteúdo de AR (1,9 g/100g) destacou-se significativamente em relação à polpa de manga madura (0,15 g/100g) (14), evidenciando que o estágio verde de maturação preserva melhor este componente nutricionalmente relevante, que atua como fibra alimentar com benefícios cardiometabólicos (15).

Os parâmetros de acidez (pH 3,31 e acidez titulável 4,20 g ácido cítrico/100g) classificam o produto como muito ácido (16), atributo que, associado à baixa atividade de água (0,384), confere estabilidade microbiológica (17). A acidez elevada, decorrente do alto teor de ácido ascórbico (18), representa vantagem tecnológica para conservação do produto.

A análise de cor revelou luminosidade (L* 70,65) e tonalidade predominante amarelo-vermelha (a* 4,69; b* 42,67), características que influenciarão a aparência dos produtos derivados (8). A análise granulométrica demonstrou que 25,64% das partículas foram retidas na peneira de 35 mesh, indicando distribuição adequada para aplicação em panificação, onde o tamanho das partículas afeta propriedades funcionais como absorção de água e textura (19,20).

A análise granulométrica (Tabela 3) da farinha de polpa de manga verde *Tommy Atkins* revelou uma distribuição de partículas adequada para aplicação em produtos de panificação, com destaque para a retenção de 25,64% das partículas na peneira de 35 mesh. Esse perfil granulométrico resulta do processo de moagem controlado, que garantiu a uniformidade das partículas, aspecto fundamental para o desempenho tecnológico da farinha. Partículas com essa dimensão apresentam maior capacidade de absorção de água e melhor dispersibilidade na massa, características essenciais para a produção de biscoitos, pois influenciam diretamente na textura, homogeneidade e qualidade final do produto (20).

Tabela 3 - Análise granulométrica da farinha da polpa da manga verde

Granulometria	**Quantidade de farinha obtida em cada peneira (%)**
14 mesch	15,32
28 mesch	11,98
35 mesch	25,64
48 mesch	9,8
100 mesch	22,6
Parte inferior	15,34

Fonte: Autores, 2025

Além disso, a granulometria uniforme contribui para a padronização do produto, facilitando sua aplicação industrial. Segundo Garber et al. (19), o tamanho das partículas é um parâmetro crítico em produtos de panificação, pois afeta não apenas as propriedades reológicas da massa, mas também a aparência e a estrutura do produto final. A predominância de partículas na faixa de 35 mesh indica que a farinha de manga verde possui características adequadas para uso em formulações de biscoitos, garantindo boa absorção de água e integração homogênea com os demais ingredientes. A uniformidade granulométrica obtida neste estudo assegura que a farinha possa ser utilizada de forma eficiente em processos industriais, mantendo a qualidade e a consistência dos produtos finais.

Esses resultados reforçam o potencial tecnológico da farinha de manga verde como ingrediente alternativo em produtos sem glúten, combinando propriedades nutricionais e funcionais com características físicas que favorecem sua aplicação em alimentos assados. Na Figura 1, da esquerda para a direita, são apresentadas as diferentes etapas da obtenção da farinha de manga verde, a primeira imagem representa a manga verde in natura, a segunda as amostras

de manga antes da secagem, a terceira as amostras de manga após a secagem e na quarta a farinha de manga verde.

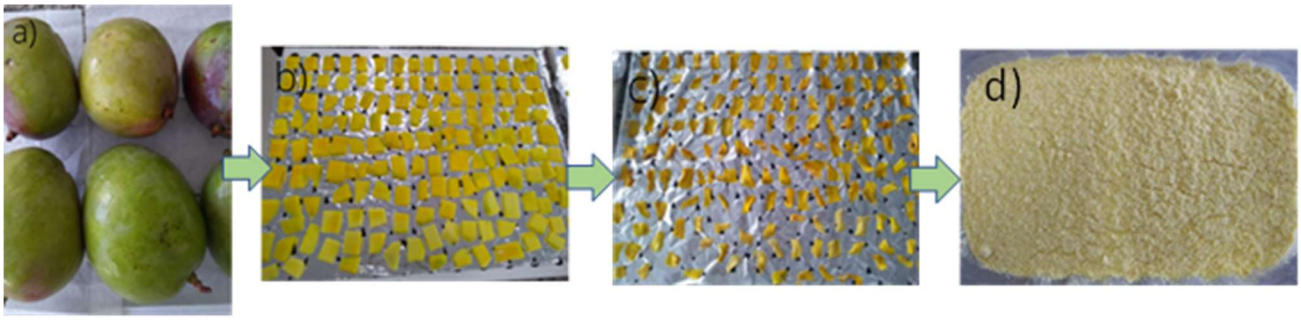


Figura 1 - Etapas de obtenção da farinha de manga verde

Fonte: Autores, 2025.

Os biscoitos analisados (Tabela 4), independente da formulação, apresentaram teor de umidade (7,32 a 8,19 g/100g) cinzas dentro dos padrões estabelecidos pela Resolução CNNPA 12/1978 de no máximo 14% (g/100g) e 3,0 % (g/100g), respectivamente, para biscoitos e bolachas (21). Os biscoitos apresentaram um aumento no teor de umidade, cinzas, acidez no parâmetro a* e firmeza com o aumento da concentração de farinha de manga verde nas formulações. Esse aumento pode ser atribuído ao aumento da concentração de farinha de manga verde nas formulações. Em que a farinha pode apresentar maior concentração de minerais e fibras, as quais retem mais umidade e também fornecem mais rígida ao produto resultando em um aumento da firmeza. Por outro lado, os biscoitos apresentaram uma diminuição do valor pH com o aumento da concentração de farinha de manga verde nas formulações. Isso pode ser atribuído ao aumento da concentração da farinha nas formulações, a qual apresenta baixo pH, consequentemente diminuindo o pH e aumentando a acidez dos biscoitos. Os biscoitos não apresentaram diferenças significativas em relação aos valores de proteínas, lipídios, aw, L*, b*, diâmetro, espessura e densidade aparente. Os biscoitos elaborados com a FI apresentaram os maiores valores de carboidrato e parâmetro de cor L* (tendência a cor mais clara) e os menores valores para o a* (tendência a menos vermelha). Enquanto que os biscoitos obtidos com a formualação FIV apresentaram os maiores valores de umidades e cinzas.

Tabela 4 - Caracterização físico-química dos biscoitos com diferentes concentrações

Parâmetros (g/100g)	**FI (0%)**	**FII (10%)**	**FIII (20%)**	**FIV (30%)**
Umidade	7,26 ± 0,57a	7,32 ± 0,33a	7,55 ± 0,45ª	8,19 ± 0,20a
Cinzas	0,51 ± 0,08a	0,68 ± 0,01b	0,74 ± 0,28c	0,81 ± 0,01d
Proteínas	5,18 ± 0,51a	5,26 ± 0,44a	5,02 ± 0,12ª	5,09 ± 0,53a
Lipídios	18,2 ± 0,11a	17,98 ± 0,20a	18,26 ± 0,12a	18,40 ± 0,32a

Carboidratos	73,2	68,76	68,43	67,51
Acidez	0,098 ± 0,007a	0,16 ± 0,004b	0,22 ± 0,015c	0,29 ± 0,021d
pH	6,72 ± 0,47b	6,56 ± 0,57ab	5,59 ± 0,09ab	5,32 ± 0,37a
Aw	0,56 ± 0,01a	0,54 ± 0,03a	0,50 ± 0,01ª	0,57 ± 0,03a
L*	82,57 ± 1,35a	79,66 ± 1,02a	79,73 ± 0,86a	79,5 ± 0,93a
a*	3,89 ± 0,25b	5,35 ± 0,29a	5,85 ± 0,38ª	5,90 ± 0,23a
b*	33,03 ± 0,16a	32,95 ± 0,66a	33,78 ± 0,16a	34,7 ± 0,24a
Diâmetro (mm)	37,26 ± 0,53ab	38,67 ± 0,15b	37,36 ± 0,66ab	37,16 ± 0,36a
Espessura (mm)	11,66 ± 0,34a	11,35 ± 0,10a	11,85 ± 0,34ª	12,08 ± 0,35a
Densidade aparente (g/cm^3)	2,94 ± 0,45a	2,68 ± 0,48a	2,56 ± 0,20ª	3,33 ± 0,28a
Firmeza (N)	1397,3±140a	1884,5±295,4 ab	1734,2±301,6 a	2400,3±274, 3b

Fonte: Autores, 2025

Nas imagens obtidas por microscopia (Figura 2) não foi possível observar diferença nas estruturas/poros dos biscoitos, com diferentes concentrações de farinha de manga verde.

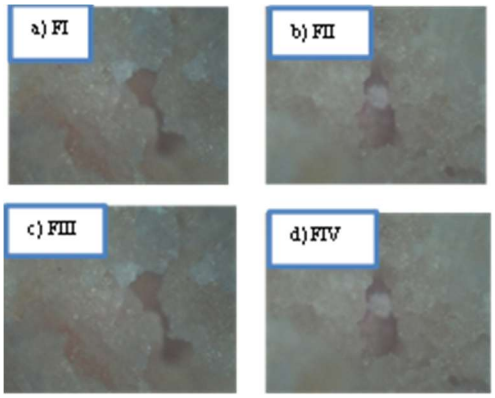


Figura 2 - Imagem de microscopia dos biscoitos obtidos pelas formulações: a) FI - 0%; b) FII - 10%; c) FIII - 20% e d) FIV - 30% de farinha de manga verde em substituição da farinha de arroz

Fonte: Autores, 2025

Na Figura 3 são apresentadas as curvas de aumento da umidade dos biscoitos elaborados com as diferentes formulações, em função do tempo de armazenamento, quando submetidos a diferentes umidades relativa (UR). De uma forma geral os biscoitos elaborados com a FI, zero por cento de farinha de manga verde apresentaram os maiores valores de umidade durante o armazenamento nas diferentes condições de UR.

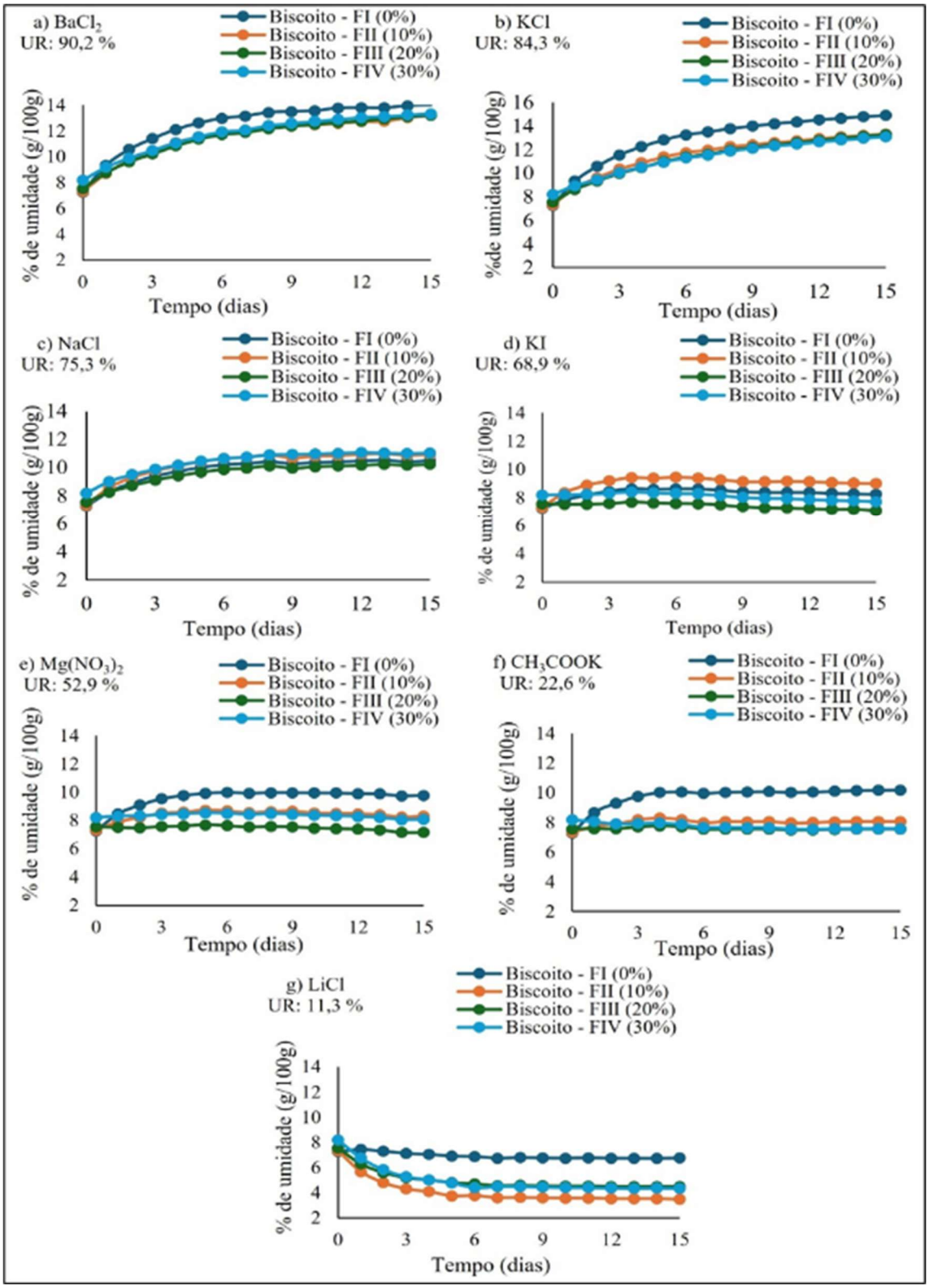


Figura 3 - Isotermas de adsorção dos biscoitos elaborados com a formulação padrão (a), formulação II (b), formulação III (c) e formulação IV (d) do biscoito com diferentes concentrações de farinha de manga verde

Fonte: Autores, 2025

Os biscoitos apresentaram menor absorção de umidade, com o aumento da concentração de farinha de manga verde na sua formulação. Isso pode ser

atribuído a presença de fibras e Amido Resistente na farinha de manga verde. Esses, apresentam baixa higroscopicidade. O AR possui capacidade de retenção de água mais baixa do que outras fibras convencionais. A menor absorção de umidade dos biscoitos elaborados com maiores concentrações de farinha de manga verde é um resultado importante. Isso demonstra que os biscoitos elaborados com farinha de manga verde se manterão crocantes por mais tempo, devido a menor absorção de umidade e consequentemente terão maior vida útil, dificultando também o desenvolvimento de microrganismos (mofos, bolores).

As amostras, independentemente da formulação, quando armazenadas nos frascos com solução saturada de cloreto de lítio perderem umidade durante o armazenamento. No entanto, ainda os biscoitos elaborados com a FI apresentaram a menor perda de umidade. Esses resultados validam ainda mais a importância da utilização da farinha de manga verde na elaboração dos biscoitos na questão de armazenamento e conservação.

CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo comprovaram o excelente potencial da farinha de manga verde como ingrediente alimentício, apresentando características tecnológicas e nutricionais altamente desejáveis. A farinha demonstrou propriedades físico-químicas ideais, incluindo baixa atividade de água, pH ácido, elevado teor de carboidratos, significativo conteúdo mineral e presença de AR, além de granulometria adequada para aplicações industriais. Estas características fazem da farinha de manga verde um ingrediente funcional valioso para a indústria de alimentos.

A análise dos biscoitos desenvolvidos revelou que o aumento progressivo da concentração de farinha de manga verde nas formulações resultou em mudanças significativas nas propriedades do produto final. Observou-se um incremento nos teores de umidade e cinzas, intensificação da tonalidade amarela (parâmetro b*), aumento da firmeza e redução do pH. Um dos achados mais relevantes foi a menor absorção de umidade nos biscoitos com maior teor da farinha, um efeito atribuído às propriedades do AR e fibras presentes na manga verde, que apresentam baixa higroscopicidade.

Estes resultados destacam três vantagens principais da utilização da farinha de manga verde na indústria alimentícia: em primeiro lugar, permite a expansão da oferta de produtos sem glúten com propriedades funcionais; em segundo lugar, melhora significativamente a conservação e manutenção das características de qualidade, especialmente no que diz respeito à textura e crocância; e em terceiro lugar, reduz a absorção de umidade durante o armazenamento, prolongando assim a vida útil do produto.

A incorporação da farinha de manga verde em formulações alimentícias se mostra, portanto, como uma estratégia inovadora e sustentável. Além de agregar valor nutricional e funcional aos produtos, contribui para o aproveitamento de um subproduto agrícola, alinhando-se com os princípios da economia circular. Os resultados obtidos abrem perspectivas promissoras para o desenvolvimento de novos alimentos com melhor perfil nutricional e características sensoriais aprimoradas, demonstrando o potencial desta farinha como alternativa tecnológica para a indústria de alimentos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao PAP/FAPESC 2023TR565 pelos recursos financeiros.

REFERÊNCIAS

1. Organização Mundial da Saúde. Ministério da Saúde chama a atenção para o diagnóstico da doença celíaca, que acomete pessoas de todas as idades (Internet). Brasília: Ministério da Saúde; 2025. Disponível em: https://saudebrasil.saude.gov.br
2. Portela JVF, Lima JP, Marques R, Alcatara NA, El-Aouar AA. Farinha de entrecasca de melancia em biscoitos sem glúten. Cienc Rural. 2015;45(9):1688–94.
3. Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. Aprova o regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. Diário Oficial da União. 2005 set 23.
4. Silva AJ, Carvalho TN, Oliveira LC, Santos JC. Desenvolvimento de biscoito isento de glúten com recheio de manga e enriquecido com ferro. Nutr Bras. 2015;15(2):63–71.
5. Vitorino F, Laiz F, Azevedo A, Wagner S, Barbosa M, Moreira EM, et al. Effect of wheat flour substitution on the development of gluten-free cookies. Braz J Food Technol. 2015.
6. Ferronatto AN, Rossi R, Cappellari F. Amido resistente: alternativa de alimento funcional para a homeostase da glicose, redução do perfil lipídico e modulação da microbiota intestinal. Saude Desenvolv Hum. 2020;8(2):109.
7. Pereira KD. Resistant starch, the latest generation of energy control and healthy digestion. Cienc Tecnol Aliment. 2007;27:88–92.
8. Galhardo C, Sá C. Elaboração de biscoito sem glúten com farinha da casca de manga (Trabalho de Conclusão de Curso). Medianeira: Universidade Tecnológica Federal do Paraná; 2019. 49 p.
9. Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis. 17th ed. Washington (DC): AOAC; 2000. v.2.
10. Greenspan L. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. J Res Natl Bur Stand A Phys Chem. 1977;81A(1):89–96.
11. American Association of Cereal Chemists. AACC Method 10-05.01: Guidelines for measurement of volume by rapeseed displacement. St. Paul: AACC; 2010.12.
12. Ryka AC, Lima AS, Nassur RC. Caracterização da farinha da casca de diferentes cultivares de manga. Enciclopédia Biosfera. 2018;15(27):12..
13. Láscaris MPS, Chaves ASD, Souza GCN, Santos MC, Nunes TP. Caracterização físico-química da polpa e da farinha da fibra de manga (Mangifera indica L. cv. Tommy Atkins). Hig Aliment. 2019;33.

14. Marques A, Chicaybam G, Araujo MT, Manñes LRT, Sabaa-Srur AUO. Composição centesimal e de minerais de casca e polpa de manga (Mangifera indica L.) cv. Tommy Atkins. Rev Bras Frutic. 2010;32(4):1206–10.

15. Almeida CV, Silva S, Gomes S. Utilização de análise de componentes principais para caracterização físico-química de farinha de casca de manga sob ação de inibidores enzimáticos e refrigeração. Agric Food Sci. 2019.

16. Angélica M, Vasconcelos S, Bibiano A, Filho M. Conservação de alimentos. Recife: Edufrpe; 2010. p.130.

17. Mattos MA. Bioprospecção do maxixe (Cucumis anguria L.): elaboração da farinha e apresentação de produto (Dissertação). Cuité: Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Educação e Saúde; 2016.

18. Oliveira AB. Caracterização físico-química, química e bioquímica do suco tropical de manga (Mangifera indica L) não adoçado obtido pelo processo HOTFILL (Dissertação). Fortaleza: Universidade Federal do Ceará; 2006.

19. Garber BW, Hsieh F, Huff HE. Influence of particle size on the twin-screw extrusion of corn meal. Cereal Chem. 1997;74(5):656–61.

20. Borges STJ, Ascheri RLJ, Nascimento ER, Freitas SA. Propriedades de cozimento e caracterização físico-química de macarrão pré-cozido à base de farinha integral de quinoa (Chenopodium quinoa) e de farinha de arroz (Oryza sativa) polido por extrusão termoplástica. Bol Cent Pesqui Process Alim. 2003;21(2):303–22.

21. Brasil. Ministério da Saúde. Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos – CNNPA. Resolução nº 12, de 24 de julho de 1978. Aprova normas técnicas específicas para alimentos. Diário Oficial da União. 1978 jul 27; Seção 1:11473.

MICROENCAPSULAÇÃO COMO ALTERNATIVA PARA ESTABILIDADE DE CORANTES NATURAIS: UMA REVISÃO

MICROENCAPSULATION AS AN ALTERNATIVE FOR THE STABILITY OF NATURAL COLORANTS: A REVIEW

DOI: 10.65747/conali2025v3c14

Flávia Luiza Araújo Tavares da Silva[1]; Taís Letícia de Oliveira Santos[2]; Maria Sza Amaral Santos Ferreira[3]; Anna Santos Costa[4]; Roberto Rodrigues de Souza[5]; Patrícia Beltrão Lessa Constant[6]

[1]Estudante do Programa de Pós Graduação em Biotecnologia – RENORBIO/SE – UFS; flavialuats@hotmail.com

[2]Estudante do Programa de Pós Graduação em Tecnologia de Alimentos – PPGTA/FEA – UNICAMP; taisleticia12@hotmail.com

[3]Estudante do Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos – CCET/DTA – UFS; mszaamaral@gmail.com

[4]Estudante do Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos - PROCTA – UFS; annasantos616@gmail.com

[5]Docente do Programa de Pós Graduação em Biotecnologia – RENORBIO/SE – UFS.

[6]Docente do Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos – PROCTA– UFS.

Resumo: A cor dos alimentos influencia diretamente a decisão de compra, e a crescente demanda por ingredientes naturais impulsiona estudos sobre o uso de corantes naturais em alimentos. Apesar de seu valor nutricional, esses compostos são instáveis frente a calor, luz e oxigênio. A microencapsulação surge como técnica promissora para preservar suas propriedades. Este trabalho tem como objetivo revisar a literatura e realizar uma análise bibliométrica sobre a microencapsulação de corantes naturais, destacando sua eficácia na estabilidade e os principais marcadores científicos. A revisão foi ampla e sem restrições de base ou período; a análise utilizou as bases *Scopus* e *Web of Science*, com tratamento no *RStudio* e *Biblioshiny*. A revisão de literatura permitiu caracterizar os corantes naturais quanto a tipos, fontes, cores e aplicações, além de destacar a microencapsulação como estratégia para estabilidade. A técnica mais empregada foi *spray drying*, enquanto a gelificação iônica se destacou pela viabilidade econômica, e a liofilização, pela preservação da cor. A análise bibliométrica revelou forte coocorrência entre termos como *food dye*, *color*, *anthocyanins* e *food coloring agents*, com *microencapsulation*, *stability* e *color* também evidenciados. A partir de 2018, observou-se um crescimento expressivo das publicações sobre o tema. O Brasil liderou em volume de produção e produtividade de autores. Entre os dez artigos mais citados, mais de 60% pertencem à área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, com predominância de periódicos relevantes da mesma área. Concluiu-se que a

microencapsulação apresenta elevada viabilidade técnica e econômica para promover a estabilidade dos corantes naturais.

Palavras–chave: Tecnologia de alimentos; pigmentos naturais; análise bibliométrica; indicadores.

Abstract: The color of food directly influences consumer purchasing decisions, and the growing demand for natural ingredients has driven research on the use of natural colorants in food products. Despite their nutritional value, these compounds are unstable when exposed to heat, light, and oxygen. Microencapsulation has emerged as a promising technique to preserve their properties. This study aims to conduct a literature review and a bibliometric analysis on the microencapsulation of natural colorants, highlighting its effectiveness in improving stability and identifying key scientific markers. The review was broad, with no restrictions on databases or time frame. The bibliometric analysis was based on the *Scopus* and *Web of Science* databases, with data processing performed in *RStudio* and *Biblioshiny*. The literature review allowed for the characterization of natural colorants in terms of types, sources, colors, and applications, and emphasized microencapsulation as a stabilization strategy. Spray drying was the most widely used technique, while ionic gelation stood out for its economic feasibility, and freeze-drying for its effectiveness in preserving color. The bibliometric analysis revealed strong co-occurrence of terms such as food dye, color, anthocyanins, and food coloring agents, with microencapsulation, stability, and color also prominently featured. Since 2018, there has been a significant increase in publications on the topic. Brazil led in research output and author productivity. Among the ten most cited articles, over 60% belong to the field of Food Science and Technology, with a predominance of highly relevant journals in the same area. It is concluded that microencapsulation offers high technical and economic feasibility for enhancing the stability of natural colorants.

Keywords: Food technology; natural pigments; bibliometric analysis; indicators

INTRODUÇÃO

A perspectiva mundial de cuidado com a saúde vem crescendo significativamente. O consumidor tem se tornado mais criterioso com as formulações dos alimentos. Nesse viés, os produtos que utilizam corantes sintéticos ou artificiais apresentaram uma queda em relação ao consumo. Em contrapartida, a procura de produtos com formulações naturais aumentou (1).

A cor é um dos principais atributos sensoriais de um alimento. Além de ser um apelo para aceitabilidade, muitas vezes também é um parâmetro que determina indicação de qualidade. Apesar da grande estabilidade dos corantes sintéticos e artificiais em relação aos corantes naturais, vários estudos vêm sendo desenvolvido ao longo dos anos para garantir estratégias que atuem melhorando a estabilidade dos corantes naturais (2).

Os corantes naturais são normalmente muito sensíveis a altas temperaturas, luz e oxigênio, sendo sujeitos a perda de pigmentos durante o armazenamento. No entanto, além da função característica de colorir, eles possuem compostos bioativos que atuam

comumente como antioxidantes. Dessa forma, além de garantir a coloração e o alcance sensorial dos produtos, os corantes naturais apresentam um potencial para enriquecimento nutricional onde são incorporados, alcançando a alegação de alimento funcional (3,4).

Para que esses compostos não sejam degradados tão facilmente e sua cor apresente aspectos indesejáveis aos produtos são utilizadas técnicas que protegem esses compostos para que eles atinjam o objetivo no tempo estimado. Uma dessas técnicas é a microencapsulação. A microencapsulação atua revestindo o composto ativo, evitando que haja degradação na presença dos fatores externos. A técnica de encapsulamento não se limita apenas a corantes, vários estudos apresentam sua utilização para aromas, lipídeos e proteínas do leite, assim também como diversos compostos nutricionais (5).

Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão de literatura acerca da relação dos corantes naturais com as técnicas de microencapsulação, assim como definir indicadores de produção de trabalhos científicos sobre o tema através de uma análise bibliométrica. Dessa forma, justificar a eficiência e viabilidade da aplicação da técnica da microencapsulação como fator de garantia da estabilidade para os corantes naturais. Além de servir para fomentar o desenvolvimento de estudos futuros.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho teve como objetivo identificar, na literatura científica, o estado da arte, bem como os principais trabalhos e periódicos de maior relevância relacionados à técnica de microencapsulação aplicada a corantes naturais. Buscou-se investigar a relação entre a aplicação da microencapsulação e a estabilidade desses corantes, abordando suas definições, técnicas envolvidas e, adicionalmente, mapeando os autores, artigos, periódicos e países com maior produção científica sobre o tema, no período de 2004 a 2025.

Como parte da metodologia, foi realizada uma revisão de literatura seguida de uma análise bibliométrica, com o objetivo de responder à pergunta de pesquisa. A análise foi conduzida nas bases de dados científicas ***Scopus*** e ***Web of Science***. Para a busca, foram utilizados os seguintes descritores em inglês: *"microencapsulation" AND "natural dye*" OR "microencapsulation" AND "natural" AND "dye*"*, com aplicação de filtros para delimitação dos resultados (Figura 1).

Após a obtenção dos dados, os arquivos foram importados para o *software* ***RStudio*** para unificação dos dados provenientes das duas bases e eliminação de duplicatas. Em seguida, os dados tratados foram analisados por meio da plataforma ***Biblioshiny***, possibilitando a geração de gráficos e a extração de informações bibliométricas relevantes

.

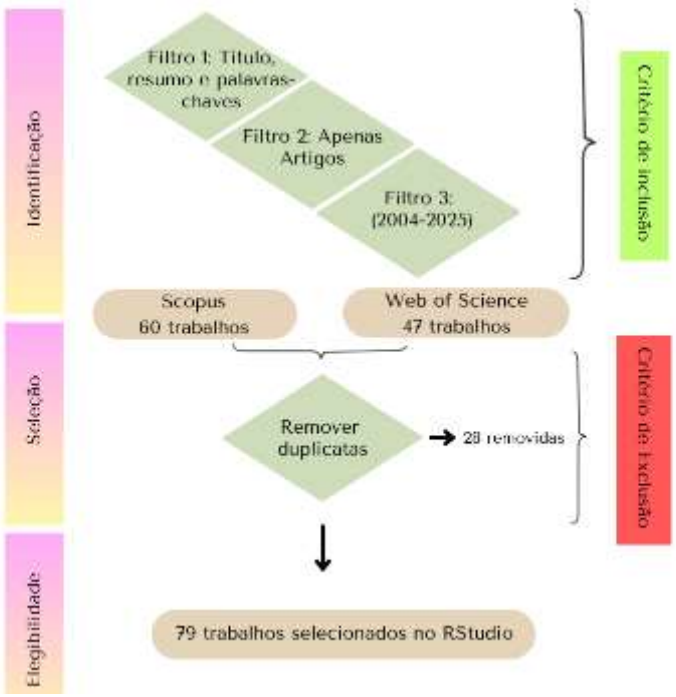


Figura 25 – Fluxograma da metodologia aplicada
Fonte: Autores, 2025

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Corantes Naturais

Segundo (6), os registros do surgimento dos corantes naturais aparecem por volta de 3000 a.C., nessa época sua utilização significava poder e a divisão entre povos. Como as formas de obtenções eram mantidas em segredo, raramente eram mencionadas. Posteriormente, há relatos sobre a extração de variados tipos como: vegetal (frutos, flores, cascas e raízes) e animal (insetos). Dos corantes mais antigos e com grande relevância na história apresentam-se o azul índigo e a púrpura, respectivamente. Através da fermentação das folhas da *Indigofera tinctoria* era obtido o azul índigo, esse corante contribuiu com a economia Europeia nos séculos XVIII e XIX devido a sua popularidade. O púrpura, corante extraído de animal, moluscos de gênero Murex, além do título de um dos mais antigos, também é conhecido como o mais caro e relativo a realeza. No entanto, devido a necessidade da utilização de bastantes moluscos, essa espécie foi extinta (7).

Os índios utilizavam os corantes para pintar vestimentas, artefatos e os próprios corpos. A pintura corporal possuía princípios de proteção contra insetos, proteção contra raio solares ou estado de espírito. De acordo com (8), há diversos sentidos na pintura corporal feita pelos índios, como: cerimônias (casamento, luto), cura, proteção, ritos de passagem, função guerreira ou religiosa. A cultura indígena aumenta a notoriedade dos corantes, devido à importância da sua utilização como marco na sociedade. A maneira que os indígenas extraiam os corantes são variadas de acordo com cada tribo. (9) afirmam que os corantes eram depositados em cuias e que a variação da

intensidade era em relação ao estágio de maturação do fruto. A cor mais intensa era obtida de um fruto mais verde.

Como definição, corantes são substância ou mistura de substâncias que tem como objetivo conferir ou intensificar a cor de um alimento. A Resolução CNNPA nº 44, de 1997, classifica-os em: artificial, orgânico (natural, sintético e sintético idêntico ao natural), inorgânico e os caramelos (10).

De acordo com (11), os corantes sintéticos apresentam uma grande vantagem devido a sua estabilidade quando comparado aos corantes naturais. Os custos de produção também são considerados menores, pois apresentam maior uniformidade durante a produção e aplicação em produto. No entanto, o consumo a longo prazo desses corantes implica em efeitos maléficos a saúde humana, como alergias.

Por outro lado, os corantes naturais não apresentam toxicidade em relação ao consumo diário e a longo prazo, além de possuir um ampla aplicação e poder de conferir cor. São obtidos de matérias primas presente na natureza, e garante benefícios à saúde de quem consome (12,13).

Os tipos de corantes naturais alimentícios estão representando conforme a Tabela 1.

Tabela 19 – Tipos de corantes e suas fontes

Corante	Fonte	Cor	Aplicação comercial
Antocianinas	Flores, frutos e plantas superiores	Infinidade de cores, desde o laranja, vermelho, purpura e azul.	Indústria alimentícia
Urucum	Semente do urucuzeiro (*Bixa orellana*, L.)	Amarelo-alaranjado	Indústria alimentícia, cosméticos, indústria farmacêutica e indústria têxtil
Carmin	Fêmeas dessecadas de insetos da espécie *Dactylopius coccus*	pH ácido: Laranja pH básico: Azul pH entre 5,0 e 7,0: Vermelho	Indústria alimentícia
Curcumina	Rizomas da cúrcuma (*Curcuma longa*)	pH ácido: amarelo limão pH básico: laranja	Indústria alimentícia, indústria farmacêutica, cosméticos e biotecnologia

Betalaínas	Vegetais da ordem Centrospermeae	Vermelho e Amarelo	Indústria alimentícia e indústria farmacêutica
Páprica	Páprica doce	Vermelho alaranjado	Indústria alimentícia
Clorofila	Plantas verdes e algas	Verde	Indústria alimentícia
Azul de genipina	Fruto da Gardênia (*Gardenia jasminoides*) e do fruto verde de jenipapo (*Genipa americana* L.)	Azul marinho	Industria alimentícia

Fonte: Elaboração própria, 2025

Os corantes naturais apresentam uma grande qualificação de serem utilizados. As antocianinas, flavonoides solúveis em água, com a sua alteração de pH mostra-se em cores do azul ao vermelho. Assim como as antocianinas, o carmin apresenta 3 cores distintas quando submetido a diferentes pH, laranja, azul e vermelho. A curcumina também expõe uma variação de cor que vai do laranja para o amarelo limão, no entanto, essa variação é ainda menor que as citadas (14,15).

A indústria de alimentos utiliza com maior frequência antocianinas, betalaínas, carotenoides e clorofilas. Cada um desses pigmentos possui especificidades distintas. As antocianinas, por exemplo, apresentam diferença em relação a sua estrutura e propriedades. As betalaínas apresentam uma maior sensibilidade à presença de luz e altas temperaturas, parâmetros que podem conferir sabor indesejado ao corante quando aplicadas em alimentos. Ainda em relação as betalaínas, sua aplicação não requer um valor de Ingestão Diária Aceitável (IDA), em virtude da possível não-toxicidade demonstrada em diversos estudos (15,16,17).

Dentre as diversas técnicas de extração dos corantes naturais, uma que está em destaque é a de reaproveitamento de resíduos, pois além de consistir em um método de baixo custo, possui compostos bioativos presentes, evita desperdício e que sejam descartados. No entanto, há tecnologias que empregam o uso de solventes, altas temperaturas e extração aquosa. O que se leva em consideração é a técnica que obtém o melhor rendimento, estabilidade dos compostos bioativos e a sensibilidade dos corantes naturais (18).

Vários estudos demonstram os efeitos benéficos dos corantes naturais como a capacidade antioxidante e antiflamatória. De acordo com os seus compostos bioativos, (19), afirmam a eficiência dos corantes naturais em relação a impedir os radicais livres e evitar a progressão de doenças. Outros trabalhos

corroboram com a relação entre o consumo dos corantes naturais e o potencial para prevenção de doenças, como alguns tipos de câncer e doenças cardiovasculares (20).

Microencapsulação

O processo de microencapsulação consiste no empacotamento de partículas minúsculas de ingredientes ativos em um segundo material. Esses ingredientes podem ser sólidos, líquidos ou gases. A principal finalidade da encapsulação é proteger o princípio ativo e liberar no tempo determinado para atingir seus objetivos naquele alimento. É um processo utilizado para dar maior estabilidade e evitar a degradação de ingredientes sensíveis. O princípio ativo encapsulado pode ser localizado na região central da cápsula ou disperso na matriz, o primeiro sendo chamado de microcápsula e o segundo micropartículas ou microesferas (21,22).

Estudos mostram que os primeiros registros sobre as tentativas de microencapsulação são da década de 30, desde então as pesquisas explorando cada vez mais possibilidade de encapsular para diversas finalidades, sendo de aplicação farmacêutica, química, alimentícias como também na agroindústria química (23). A microcápsula é definida como uma estrutura que possui um núcleo com o princípio ativo envolto por uma membrana feita do agente de parede (24).

A maltodextrina é descrito por (25) como um agente carreador vantajoso e eficiente, dado que em seu estudo pode-se observar que o teste de estabilidade não obteve variações nos parâmetros colorimétricos. Este agente também é citado por (26), devido a seu custo acessível, sabor e aroma neutro, o que não interfere na formação da microcápsula, como também sua proteção contra oxidação.

Existem vários métodos de escolha de processo para a microencapsulação, desde químicos, físicos e físico-químicos. A técnica de *spray drying* é a mais estudada e utilizada atualmente por diversas áreas industriais, devido ao baixo custo do processo, a estabilidade do produto final, retenção satisfatória de compostos voláteis e disponibilidade dos equipamentos. Em contrapartida, a gelificação iônica é uma técnica que vem apresentando resultados satisfatórios na encapsulação do setor alimentício por possuir uma metodologia simples e ser economicamente viável, além de conferir a estabilidade proposta pela microencapsulação. A escolha da técnica é de acordo com as propriedades físico-químicas do material que pretende encapsular (27). No entanto, há métodos específicos e utilizados para microencapsulação de alimentos, como além dos citados, a coacervação e liofilização.

Spray Drying

Sendo uma das técnicas de microencapsulação mais antigas, a *spray drying* utiliza a retirada de água através de secagem, isso assegura prevenção de degradação, redução de custos e estabilidade microbiológica. Compreende-se por *spray drying* uma operação que tem como finalidade a transformação de um fluido para forma em pó dentro de uma câmera que fará uma dispersão das

gotículas presente no material com o gás aquecido. A microencapsulação vai revestir esse pó formando uma barreira física de proteção evitando a exposição e liberando o material ativo quando desejado (28,29).

Envolvendo quatro etapas, essa técnica é a mais utilizada pela indústria. A emulsão é preparada através da seleção de um material de parede que deve ser hidratado e inserido do material ativo para encapsulação. É feita a homogeneização dessa emulsão e através da bomba de alimentação levada para a câmara de secagem. Na atomização haverá a formação de gotículas, quando se inicia a secagem a água das gotículas será evaporadas e formará na superfície da gotícula uma crosta seca. O produto segue para o ciclone coletor de pó que fará a separação do produto seco e do ar desejado (28,29).

Com base em exemplos de estudos encontrados a cerca dessa técnica, (30) realizaram o microencapsulamento por *spray drying* da *Momordica Charantia* Linn para disfarçar o gosto amargo apresentado pela mesma. Através dessa técnica pôde-se obter um pó com características sensoriais aceitáveis e com potencial para aplicação em alimentos.

(31) utilizaram a técnica de microencapsulação por *spray drying* em uma cultura probiótica para adicioná-la a uma bebida a base de soro de leite e foi possível observar que essa técnica possibilitou preservação celular tanto na produção quanto no armazenamento. Também concluíram que a adição do encapsulado da cultura probiótica em bebidas possui uma alta viabilidade.

De acordo com (25) a técnica de *spray drying* permitiu uma estabilidade maior do microencapsulado do pigmento do urucum em relação ao pigmento não microencapsulado. O que propõe um grande avanço para utilização dos corantes naturais que possui um limite de uso devido a sua instabilidade.

Afirmando ainda mais a eficiência da técnica, (32) realizou a microencapsulação do extrato hidroetanólico da torta de juçara e pôde observar que os compostos fenólicos foram preservados, como também a capacidade de uso em produtos alimentícios como alternativa de garantir um enriquecimento funcional.

Gelificação iônica

A técnica de gelificação iônica é outra alternativa de microencapsulação com o processo mais simplificado e de custo baixo. As microcápsulas são formadas através de uma membrana de gel que encapsula o composto ativo devido a reação de um hidrocoloide com a solução iônica, normalmente utilizada, cloreto de cálcio. Alguns requisitos para o agente encapsulante devem ser respeitados para que o processo possibilite tanto revestimento excelente quanto a liberação correta do composto ativo. É necessário um agente encapsulante que apresente baixa viscosidade, baixa higroscopicidade, seja de fácil manipulação, não reaja com o composto ativo, ser próprio conter o composto ativo e hábil para dispersá-lo quando preciso (33,34).

Para formar gel utilizasse polissacarídeos que possuem essa capacidade quando em contato com íons polivalentes, como o alginato de sódio, pectina e carragena. O processo é feito por aspersão ou gotejamento dos mesmo sobre uma solução iônica. A gelificação iônica apresenta dois tipos: interna e externa.

A gelificação externa não faz uso de solventes orgânicos, o que demonstra uma grande alternativa para a indústria alimentícia, farmacêutica e biomédica (35).

Como exemplo da viabilidade dessa técnica, (36) elaboraram microcápsulas de cúrcuma longa através de gelificação iônica para adição em vinagre de álcool, onde as características físico-químicas do pó e das microcápsulas se assemelharam, divergiram apenas nos resultados de carotenoides e capsaicina. No mais, o produto final obteve resultado satisfatório em relação a técnica de microencapsulação e aumentou o teor de carotenoides no vinagre após sete dias de armazenamento.

(37) realizou a microencapsulação de pimenta cheiro verde adicionadas de espinafre com a técnica de gelificação iônica e armazenadas em meio ácido. Assim, foi possível observar que os teores de compostos bioativos encontrados nas microcápsulas obtiveram um potencial adequado de estabilidade.

No trabalho realizado por (38) foi comprovado a viabilidade da microencapsulação de mamão dado as características similares entre a polpa de mamão e as microcápsulas. A comparação entre o armazenamento em embalagens de polipropileno e vidro a 5 ºC, o polipropileno apresentou melhor condição de conservação para os nutrientes presente.

Segundo (39) o Brasil conta com 17 depósitos de patentes de produtos da microencapsulação por gelificação iônica. Apesar do grande número de pesquisas desenvolvidas a cerca desse método, há uma falta de preocupação com a proteção desses produtos.

De acordo com (40) através de uma revisão sobre encapsulação pela técnica de gelificação iônica, concluíram que sua utilização garante um grande potencial principalmente na área de alimentos devido aos benefícios observados como: aumento de vida útil de compostos sensíveis, baixo custo, execução e manipulação simples, como também a não necessidade de utilizar altas temperaturas.

Coacervação

Sendo uma das mais importantes e antiga técnicas de microencapsulação, a coacervação vem sendo utilizada desde os anos 60. É baseada na separação de fases de hidrocoloides por meio de uma solução, resultando em uma nova fase, coacervada, rica em coloides, que formará uma parede em torno de um ingrediente ativo suspenso ou emulsificado. Após a formação da parede, é realizado o endurecimento da mesma e a separação das cápsulas obtidas (41,42).

Essa técnica é utilizada para diferentes áreas da indústria, desde alimentícia e farmacêutica até química e cosmética. Apresenta-se de duas formas: simples ou complexa. A coacervação simples, uma única substância é usada como agente encapsulante, à medida que a coacervação complexa são necessários dois polímeros diferentes, com cargas opostas, onde irão formar as microcápsulas através da ligação iônica entre si. Esse processo é embasado no efeito da dessolvatação parcial de polímeros, onde ocorre a dissolução do polímero em um solvente, resultando na redução da solubilidade e precipitação de parte do solvente formando uma fase sólida (43,44,45,46).

A adição do material ativo a ser encapsulado pode ocorrer de formas diferentes.

1. Diretamente à fase líquida;
2. Em um dos polímeros;
3. Antes da separação de fases;
4. Depois da separação de fases;

Para garantir a uniformidade da formação das microcápsulas, é necessário assegurar uma agitação contínua em todo o processo. Além disso, é preciso atentar-se a parâmetros como pH, força iônica, a massa molar dos polímeros utilizados, o tempo da reação, a fim de evitar perdas estruturais nas microcápsulas e a concentração dos polímeros polieletrólitos (47).

Tabela 2 – Vantagens e desvantagens da técnica de coacervação

Vantagens	Desvantagens
Condições brandas de processo	Rápido aumento de viscosidade
Variedade de biopolímeros compatíveis	Custo elevado
Muito eficiente	Poucas informações sobre sistema de liberação de hidrofóbicos
Potencial para flavorizantes	Dificuldade quanto à quantidade de núcleo

Fonte: Elaboração própria, 2025

Apesar das vantagens apresentadas na Tabela 2, a técnica de coacervação apresenta problema de resultam na razão pela qual não é normalmente empregada nas indústrias alimentícias.

Liofilização

Os primeiros registros da utilização adequada da liofilização são de 1911, sendo o vírus da raiva o primeiro produto. No entanto, pouco antes, em 1906, essa mesma técnica era utilização como forma de preservação de vacinas. Apenas durante a Segunda Guerra Mundial é que a liofilização começa a atuar em escala industrial. Apesar disso, foi na década de 60 que se iniciou o desenvolvimento da técnica no setor alimentício e, assim, sua utilização foi propagada para várias aplicações (48).

O ciclo da liofilização consiste na remoção de água por sublimação. Esse método apresenta a habilidade de secar e reidratar o produto depois de seco. O ciclo começa com o congelamento do produto, a solidificação desse material. Em seguida, ocorre a primeira secagem, onde é realizada a sublimação de gelo, e, por fim, a segunda secagem, na qual ocorre a absorção da água

descongelada. Essa técnica utiliza temperaturas baixas, baixa pressão atmosférica e vácuo (49).

Por utilizar baixas temperaturas, também é conhecida como criodesidratação ou criosecagem. Entre as vantagens que essa técnica proporciona para a microencapsulação, as principais são produtos com alta solubilidade e com estabilidade perante a oxidação (50).

Análise bibliométrica da microencapsulação relacionada a corantes naturais no período de 2004 à 2025

A análise bibliométrica permitiu mapear o tema trabalhado, além de gerar indicadores distintos ao longo de aproximadamente 20 anos. Observa-se a rede de coocorrência nos títulos, resumos e palavras-chave dos artigos selecionados nas bases *Web of Science* e *Scopus*, representadas nas Figuras 2 e 3, respectivamente. Para os dados da *Web of Science*, essa rede foi obtida com a adoção de um critério mínimo de três ocorrências, dentre 340 palavras-chave, resultando na identificação de 17 termos mais relevantes para a formação do mapa. Já na *Scopus*, devido ao maior volume de publicações, adotou-se o mesmo critério mínimo, entre 897 palavras-chave, resultando em 94 termos representativos.

De acordo com os dados da *Web of Science*, observa-se que, apesar da existência de cinco clusters distintos, estes estão interconectados, e os termos encontram-se no âmbito da área de alimentos, com elevada incidência em *encapsulation*, *antioxidant activity*, *maltodextrin*, *bioactive compounds* e *pigments*. Esse padrão pode ser justificado pela riqueza nutricional dos corantes naturais, uma vez que a técnica de microencapsulação assegura não apenas a estabilidade da cor, mas também a preservação dos compostos bioativos, conferindo uma vantagem em relação aos corantes sintéticos.

O mapa obtido com os dados da *Scopus* apresentou semelhanças ao da *Web of Science*, com cinco clusters distintos, todos interconectados. Entretanto, os termos de maior incidência foram: *microstructure*, *spray drying*, *color*, *differential scanning calorimetry*, além de outros similares ao mapa da *Web of Science*. Na Figura 3, observa-se a ocorrência de diferentes técnicas de microencapsulação, bem como diversas análises que abrangem áreas além da alimentícia.

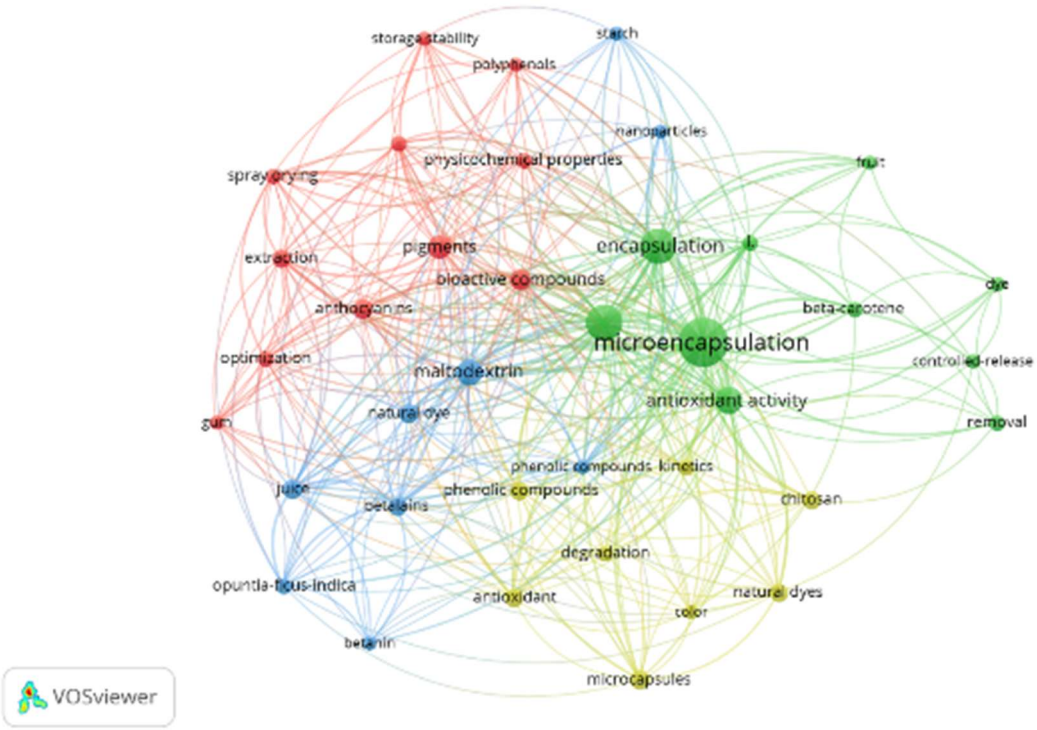


Figura 2 – Rede de coocorrências
Fonte: Elaborado pelos autores e extraído do Vosviewer, 2025

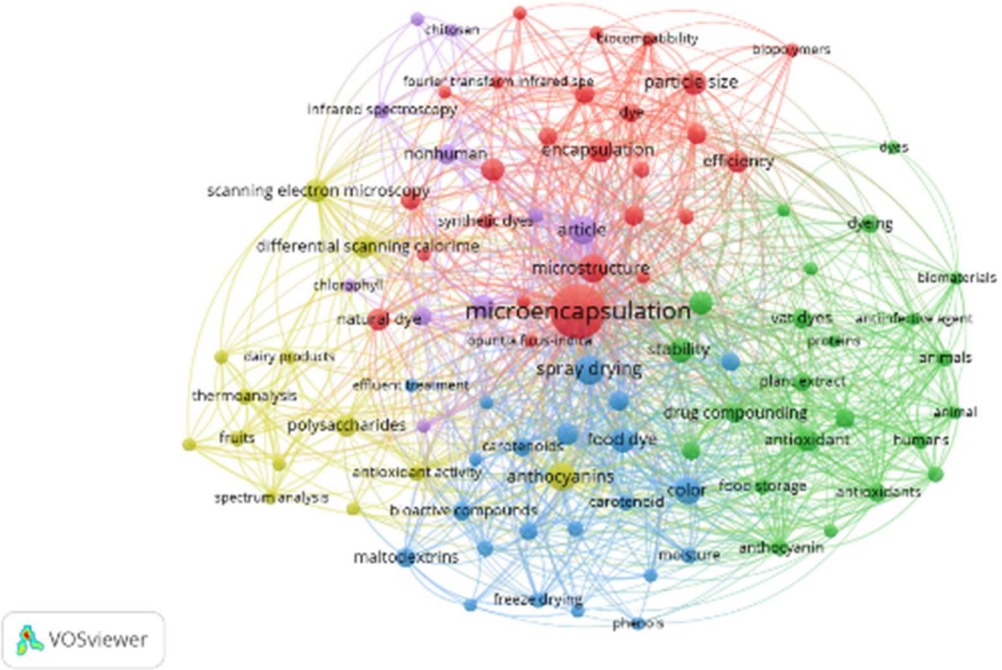


Figura 3 – Rede de coocorrências
Fonte: Elaborado pelos autores e extraído do Vosviewer, 2025

A unificação dos dados provenientes das duas bases utilizadas possibilitou a identificação da densidade de coocorrência dos termos mais recorrentes. Verifica-se maior concentração nos termos *food dye*, *color*, *anthocyanins* e *food coloring agents*, os quais também se destacaram nas análises individuais realizadas por meio do *VOSviewer*.

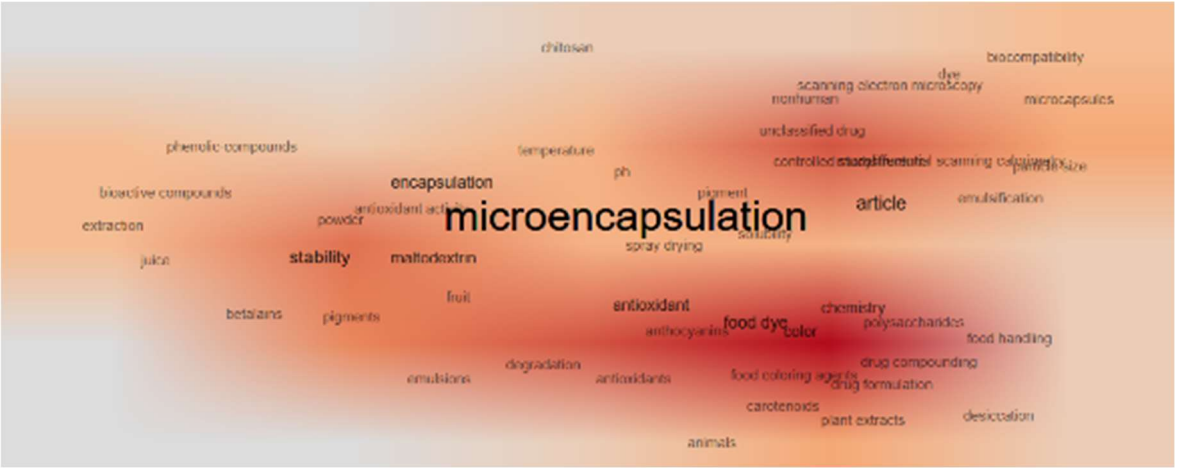


Figura 4 – Densidade da coocorrência de palavras da unificação das bases de dados
Fonte: Elaborado pelos autores e extraído do pacote *Bibliometrix R*, 2025

A nuvem de palavras obtida pela unificação dos dados provenientes da *Web of Science* e da *Scopus* revelou uma frequência de 46% para o termo *microencapsulation*, que corresponde à palavra de busca, seguida por *stability* com 19%, *encapsulation* com 18% e *color* com 14%. A associação desses termos evidencia a interação entre eles nos trabalhos selecionados. Dessa forma, a microencapsulação se apresenta como uma técnica que assegura a estabilidade dos pigmentos coloridos naturais em diversos estudos. Observa-se também a frequência do termo *maltodextrin*, que tem sido o agente encapsulante mais utilizado nos processos de microencapsulação.

Figura 5 – Nuvem de palavras
Fonte: Elaborado pelos autores e extraído do pacote *Bibliometrix R*, 2025

A produção científica no período entre 2004 e 2025 está representada na Figura 6. Observa-se que, entre 2004 e 2017, a produção manteve-se baixa. No entanto, a partir de 2018, ocorreu um crescimento significativo. Ao longo dos últimos sete anos, a produção de trabalhos científicos sobre microencapsulação de corantes naturais atingiu, em quatro ocasiões, mais que o dobro em relação aos anos iniciais, sendo por duas vezes a produção máxima. Essa tendência indica uma intensificação na busca por técnicas que garantam a estabilidade dos corantes naturais, em função dos malefícios associados aos corantes sintéticos e artificiais.

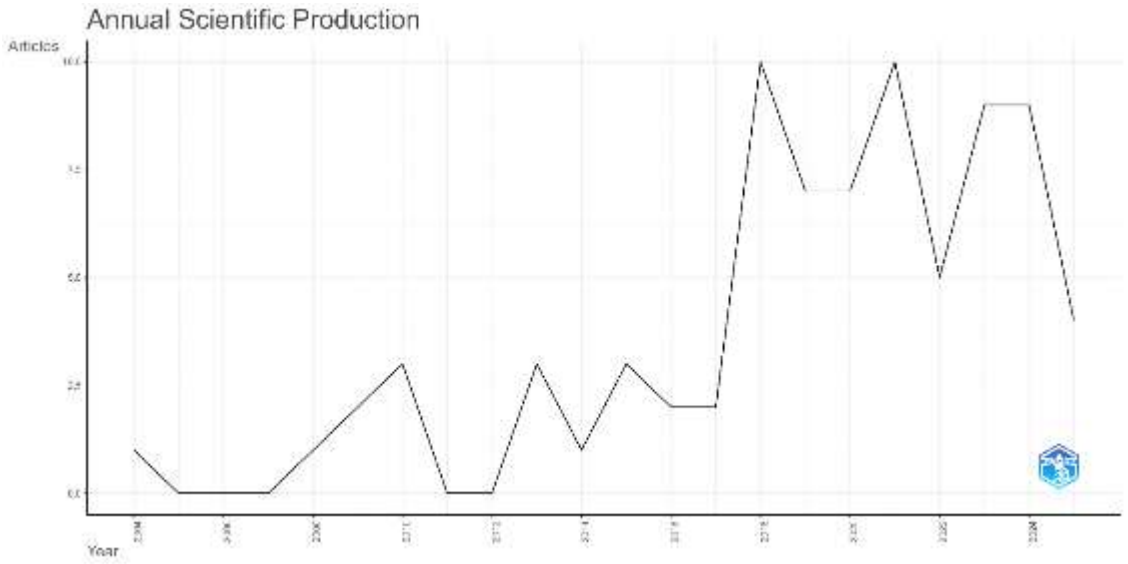


Figura 6 – Produção científica anual
Fonte: Elaborado pelos autores e extraído da plataforma *Biblioshiny R*, 2025

A produção científica por país está representada na Figura 7, que lista os 25 países com maior contribuição no tema estudado. O Brasil ocupa a primeira posição, com um número significativamente superior ao dos demais países. A Colômbia aparece em segundo lugar, enquanto China, Indonésia e Espanha compartilham a terceira posição com contribuições semelhantes. A elevada frequência de 68 produções científicas brasileiras pode ser justificada pela diversidade das matérias-primas utilizadas para obtenção dos corantes naturais e, consequentemente, pelo interesse em prolongar a vida útil desses pigmentos por meio da técnica de microencapsulação.

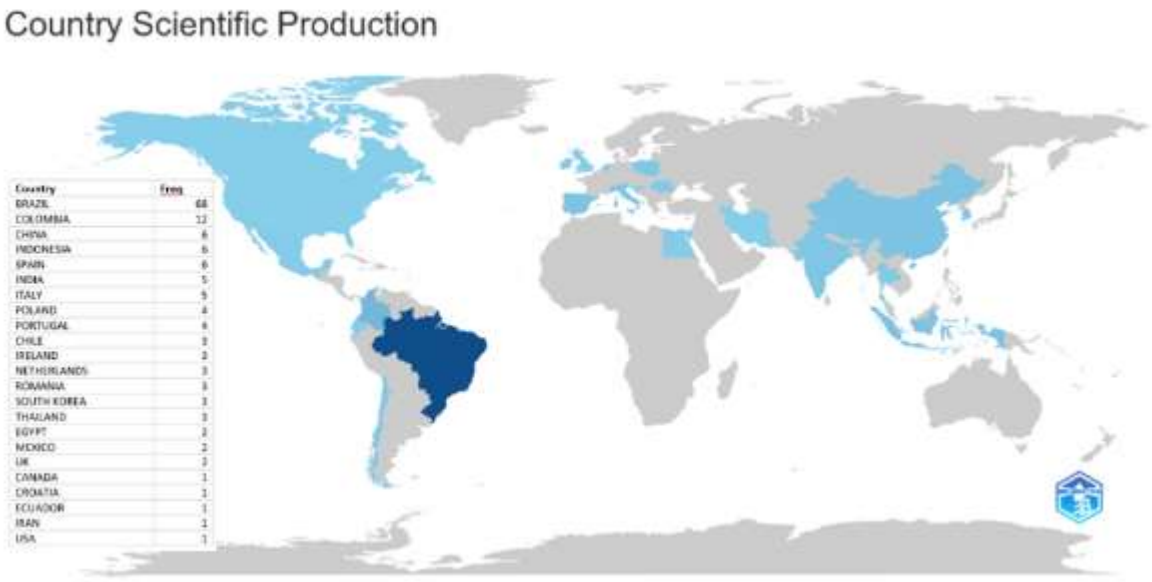


Figura 7 – Produção científica por país
Fonte: Elaborado pelos autores e extraído da plataforma *Biblioshiny R*, 2025

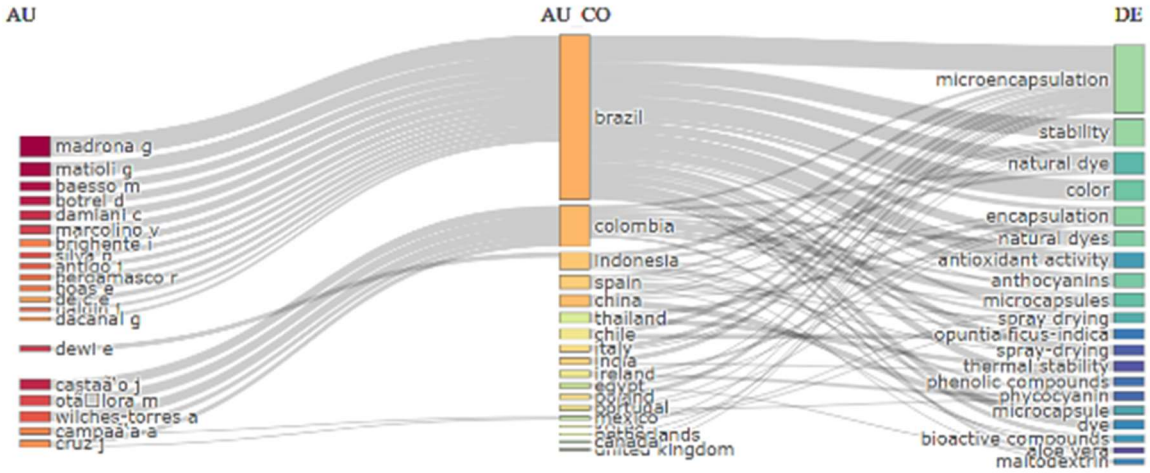


Figura 8 – Gráfico de 3 campos
Fonte: Elaborado pelos autores e extraído da plataforma *Biblioshiny R*, 2025

Na Figura 8, observa-se a distribuição da produção por país, conforme apresentada anteriormente, em relação aos autores e às palavras-chave utilizadas nos trabalhos analisados. Os autores destacados pertencem ao grupo com maior número de publicações, majoritariamente vinculados a instituições brasileiras, o que corrobora a predominância da produção nacional em comparação aos demais países.

Entre os dez artigos mais citados sobre a técnica de microencapsulação, mais de 60% estão relacionados a corantes naturais e/ou compostos bioativos (Tabela 03). Esses autores são referências em diversos estudos que investigam essa técnica.

(51) destaca, em seu artigo, a grande diversidade estrutural dos pigmentos naturais presentes em alimentos, assim como aspectos relacionados à estabilidade e influências que podem provocar efeitos desejados ou indesejados. Além disso, como os estudos sobre a microencapsulação desses compostos concentram-se predominantemente em pesquisas voltadas para corantes naturais.

(52) apresentam relatos sobre a aplicação da técnica de *spray drying* em antocianinas, promovendo o uso da microencapsulação para garantir a estabilidade de compostos sensíveis.

(53) descrevem a utilização do extrato microencapsulado de jabuticaba como corante natural em linguiça frescal. Além da eficiência das microcápsulas na coloração, também foi observada a atividade antioxidante e antimicrobiana proveniente do extrato utilizado como corante.

Tabela 03 – Dez artigos mais citados

Título	**Autoria**	**Total de citações**
Update on natural food pigments-A mini-review on carotenoids, anthocyanins, and betalains	(Rodriguez-Amaya, 2019)	348
Spray-drying microencapsulation of anthocyanins by natural biopolymers: A review.	(Mahdavi et al., 2014)	280
Experimental assessment of heat storage properties and heat transfer characteristics of a phase change material slurry for air conditioning applications	(Diaconu, Varga, & Oliveira, 2010)	184
The adhesive properties of coacervated recombinant hybrid mussel adhesive proteins	(Lim et al, 2010)	141
Green natural colorants	(Viera, Pérez-Gálvez, & Roca, 2019)	117
Characterization of microencapsulated and impregnated porous host materials based on calcium chloride for thermochemical energy storage	(Gaeini, et al., 2018)	113
Microencapsulated jabuticaba (Myrciaria cauliflora) extract added to fresh sausage as natural dye with antioxidant and antimicrobial activity.	(Baldin et al., 2016)	107
Carotenoids microencapsulation by spray drying method and supercritical micronization.	Janiszewska-Turak, E. (2017)	84

Nanoencapsulation improved water solubility and color stability of carotenoids extracted from Cantaloupe melon (Cucumis melo L.).	Medeiros et. al, (2019)	69
Novel all-natural microcapsules from gelatin and shellac for biorelated applications.	Patel, et. al, (2013)	67

Fonte: Autores, 2025

Dentre os dez periódicos mais relevantes para o tema proposto, observa-se a maior incidência de publicações nas áreas de alimentos, ciência e tecnologia de alimentos, bem como biotecnologia (Figura 9). Entretanto, percebe-se que a técnica de microencapsulação pode abranger e beneficiar diversas outras áreas além da aplicação em corantes naturais.

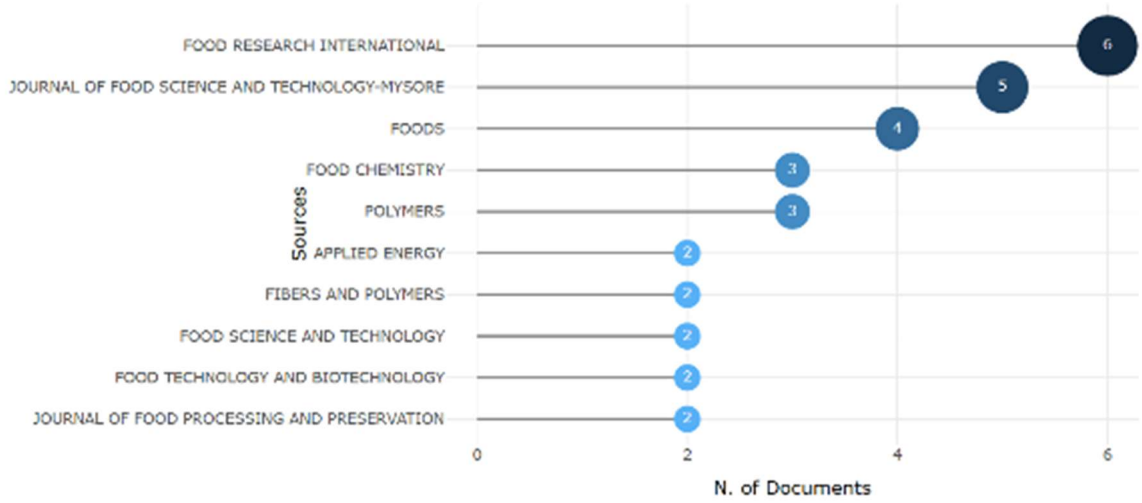


Figura 9 – Periódicos mais relevantes
Fonte: Elaborado pelos autores e extraído da plataforma Biblioshiny, 2025.

CONCLUSÕES

Por meio da revisão de literatura, foi possível obter o histórico dos corantes naturais, bem como seus tipos, fontes, cores e possíveis áreas de aplicações. Também foram observados os parâmetros de estabilidade investigados nos estudos que utilizaram a técnica de microencapsulação. Dentre as principais técnicas identificadas, a técnica de *spray drying* foi a mais utilizada. No entanto, em relação a maior viabilidade econômica, a técnica de gelificação iônica apresentou maior destaque. A liofilização também sobressaiu por garantir menor degradação da cor, uma vez que não envolve altas temperaturas.

No que se refere à análise bibliométrica, o mapeamento de termos realizado com o *Vosviewer,* a partir das bases de dados *Scopus* e *Web of Science*, revelou a incidência significativa de termos semelhantes, também se observou que todos os *clusters* estavam interligados. Apenas o mapa gerado a partir da base Scopus apresentou um *cluster* com área tematicamente distinta. A unificação dos dados, realizada por meio do

RStudio, permitiu identificar, a partir da densidade de coocorrências obtida no Biblioshiny, os termos com maior incidência: *food dye*, *color*, *anthocyanins* e *food coloring agents*. A nuvem de palavras também evidenciou resultados semelhantes, destacando os termos de maior frequência: *microencapsulation*, *stability* e *color*.

A produção científica registrada no período de 2004 a 2025 demonstrou que nos primeiros houve um crescimento mínimo. A partir de 2018, observou-se um aumento expressivo, aproximadamente quatro vezes maior, no número de publicações relacionadas ao tema. O Brasil foi o País com maior volume de produção sobre microencapsulação de corantes naturais, além de concentrar os autores mais produtivos. Entre os dez artigos mais citados, mais de 60% pertencem à área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, com destaque para os periódicos mais relevantes, predominantemente vinculados a essa mesma área.

REFERÊNCIAS

1. MORDOR INTELLIGENCE. *Tamanho do mercado de corantes alimentares e análise de participação – tendências e previsões de crescimento (2024–2029)*. (S. l.), 2024. Disponível em: https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/food-colorants-market. Acesso em: 18 maio 2025.

2. PRABHU, K. H.; BHUTE, A. S. Plant based natural dyes and mordants: a review. *Journal of Natural Products and Plant Resources*, v. 2, n. 6, p. 649–664, 2012.

3. PHAN, K.; RAES, K.; VAN SPEYBROECK, V.; ROOSEN, M.; DE CLERCK, K.; DE MEESTER, S. Non-food applications of natural dyes extracted from agro-food residues: a critical review. *Journal of Cleaner Production*, v. 301, p. 126920, 2021.

4. DURAZZO, A.; CAROCHO, M.; HELENO, S.; BARROS, L.; SOUTO, E. B.; SANTINI, A. et al. Food dyes and health: literature quantitative research analysis. *Measurement: Food*, v. 7, p. 100050, 2022.

5. RIBEIRO, J. S.; VELOSO, C. M. Microencapsulation of natural dyes with biopolymers for application in food: a review. *Food Hydrocolloids*, v. 112, p. 106374, 2021.

6. LE COUTER, P.; BURRESON, J. *Os botões de Napoleão: as 17 moléculas que mudaram a história*. Tradução de Maria Luiza X. de A. Borges. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2006.

7. SANTOS, N. S.; SILVA, F. L. A. T.; NETA, M. T. S. L. Corantes naturais: importância e fontes de obtenção. *RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar*, v. 3, n. 3, e331165, 2022.

8. DEMARCH, A. Artes da cura: pinturas corporais em alguns grupos. *Revista de Antropologia da UFSCar*, v. 11, n. 2, 2019.

9. PENALBER, T. J. A.; SADALA, M. A. C.; CASTRO, M. S.; FARIA, L. J. G. Ensaios, extração e aplicação de corantes do fruto jenipapeiro (*Genipa americana* L.). *Revista Brasileira de Corantes Naturais*, v. 2, p. 129–135, 1996.

10. BRASIL. Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos. Resolução CNNPA nº 44, de 1977. Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/documents/. Acesso em: 25 set. 2024.

11. EL-WAHAB, H. M. F. A.; MORAM, G. S. E. Toxic effects of some synthetic food colorants and/or flavor additives on male rats. *Toxicology and Industrial Health*, v. 29, n. 2, p. 224–232, 2013.

12. FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. *Química de alimentos de Fennema*. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

13. CHR. Corantes naturais: tecnologia a serviço de uma alimentação saudável. *Food Ingredients Brasil*, n. 18, 2011.

14. CASTAÑEDA-OVANDO, A.; PACHECO-HERNÁNDEZ, M. de L.; PÁEZ-HERNÁNDEZ, M. E.; RODRÍGUEZ, J. A.; GALÁN-VIDAL, C. A. Chemical studies of anthocyanins: a review. *Food Chemistry*, v. 113, n. 4, p. 859–871, 2009.

15. MARTINS, N.; RORIZ, C. L.; MORALES, P.; BARROS, L.; FERREIRA, I. C. F. R. Food colorants: challenges, opportunities and current desires of agro-industries to ensure consumer expectations and regulatory practices. *Trends in Food Science & Technology*, v. 52, p. 1–15, 2016.

16. MAZZA, G. *Anthocyanins in fruits, vegetables, and grains*. Boca Raton: Routledge, 2018.

17. DE MEJIA, E. G.; ZHANG, Q.; PENTA, K.; EROGLU, A.; LILA, M. A. The colors of health: chemistry, bioactivity, and market demand for colorful foods and natural food sources of colorants. *Annual Review of Food Science and Technology*, v. 11, p. 145–182, 2020.

18. JÚNIOR, O. V.; ABRANTES, K. N. C.; MATIAS, K. S.; RIBEIRO, K. S. Oficina temática: obtenção e aplicação de corantes naturais no cotidiano. *Brazilian Journal of Development*, v. 5, n. 7, p. 8522–8533, 2019.

19. PEREIRA, A. L. F.; VIDAL, T. F.; CONSTANT, P. B. L. Dietary antioxidants: chemical and biological importance. *Nutrire*, v. 34, n. 3, p. 231–247, 2009.

20. BERGMANN, A.; EYMAEL, D. A.; GOMES, N. R.; FRASSON, S. F.; SILVA, C. S. Benefits of carotenoid consumption from native fruits in Brazil: a literature review. *Revista Brasileira de Obesidade, Nutrição e Emagrecimento*, v. 15, n. 97, p. 1158, 2021.

21. ESTEVINHO, B.; ROCHA, F.; SANTOS, L.; ALVES, A. Microencapsulation with chitosan by spray drying for industry applications: a review. *Trends in Food Science & Technology*, v. 31, p. 138–155, 2013.

22. OZKAN, G.; FRANCO, P.; MARCO, I.; XIAO, J.; CAPANOGLU, E. A review of microencapsulation methods for food antioxidants: principles, advantages, drawbacks and applications. *Food Chemistry*, v. 272, p. 494–506, 2019.

23. FAVARO, T. C. S.; PINHO, S. C.; ROCHA, G. A. (Sem título). *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 11, p. 103, 2008.

24. RODRÍGUEZ-NÚÑEZ, J. R.; MADERA-SANTANA, T. J.; SÁNCHEZ-MACHADO, D. I.; LÓPEZ-CERVANTES, J.; SOTO VALDEZ, H. Chitosan/hydrophilic plasticizer-based films: preparation, physicochemical and antimicrobial properties. *Journal of Polymers and the Environment*, v. 22, n. 1, p. 41–51, 2014.

25. CONSTANT, P. B. L.; SILVA, A. G.; BORGES, Â. S.; MELO, F. O.; FANCHIOTTI, F. E.; SILVA, F. L. A. T.; STRINGHETA, P. C. Microencapsulação de pigmento natural de

urucum e avaliação de sua estabilidade. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 9, e51910918179, 2021.

26. KRISHNAN, S.; KRISHIRSAGAR, A. C.; SINGHAL, S. The use of gum arabic and modified starch in the microencapsulation of food flavor agent. *Carbohydrate Polymers*, v. 62, p. 309–315, 2005.

27. DAVIDOV-PARDO, G.; AROZARENA, I.; MARÍN-ARROYO, M. R. Optimization of a wall material formulation to microencapsulate a grape seed extract using a mixture design of experiments. *Food and Bioprocess Technology*, v. 6, n. 4, p. 941–951, 2013.

28. GHARSALLAOUI, A.; ROUDAUT, G.; CHAMBIN, O.; VOILLEY, A.; SAUREL, R. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: an overview. *Food Research International*, v. 40, n. 9, p. 1107–1121, 2007.

29. DRUSCH, S.; REGIER, M.; BRUHN, M. Recent advances in the microencapsulation of oils high in polyunsaturated fatty acids. In: **NOVEL TECHNOLOGIES IN FOOD SCIENCE**. New York: Springer, 2012. p. 159–181.

30. GOYAL, S.; SONAWANE, S.; NACHAL, N.; ARYA, S. Encapsulation of *Momordica charantia* Linn. (Bitter Gourd) juice by spray drying technique. *Journal of Food Measurement and Characterization*, v. 14, n. 6, p. 3529–3541, 2020.

31. OBRADOVIĆ, N.; VOLIĆ, M.; NEDOVIĆ, V.; RAKIN, M.; BUGARSKI, B. Microencapsulation of probiotic starter culture in protein–carbohydrate carriers using spray and freeze-drying processes: implementation in whey-based beverages. *Journal of Food Engineering*, v. 321, p. 110948, 2022.

32. RIBEIRO, L. D. O.; BRITO, M. O. D.; FREITAS, S. P.; JUNG, E. P.; KUNIGAMI, C. N. Microencapsulação do extrato de torta de juçara por spray drying. *Higiene Alimentar*, v. 34, p. 3469–3473, 2019.

33. O'DONNELL, P. B.; MCGINITY, J. W. Preparation of microspheres by the solvent evaporation technique. *Advanced Drug Delivery Reviews*, v. 28, p. 45–42, 1997.

34. KRASAEKOOPT, W.; BHANDARI, B.; DEETH, H. Evaluation of encapsulation techniques of probiotics for yoghurt. *International Dairy Journal*, v. 13, p. 3–13, 2003.

35. MCCLEMENTS, D. J. *Food emulsions: principles, practice, and techniques*. Boca Raton: CRC Press, 2005.

36. FRANÇA ANDRADE, S.; NASCIMENTO, R. S.; CARVALHO, F. A.; SANTOS, A. M.; PAGANI, A. A. C. Microencapsulação de cúrcuma longa (*açafrão*) pelo método de gelificação iônica. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 3, p. 12387–12398, 2020.

37. SANTOS, A. M. D. Microcápsulas de pimenta-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin): quantificação dos compostos bioativos e aromáticos. 2020. Dissertação (Mestrado) – (informar instituição), 2020.

38. PAGANI, A. A. C.; OLIVEIRA, M. C.; XAVIER, A. C. R.; MORAIS, A. L. B.; NUNES, T. P.; SILVA, G. F. Study of the process of getting the drops of papaya (*Carica papaya* L.) per basic spherification. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, v. 4, n. 6, 2014.

39. MELO, F. O.; CONSTANT, P. B. L. Microencapsulação por gelificação iônica: uma prospecção tecnológica com base no INPI. *Cadernos de Prospecção*, v. 14, n. 4, p. 1236–1247, 2021.

40. REIS, A. A.; SANTOS, J. M.; FANCHIOTTI, F. E.; SILVA, A. G.; CONSTANT, P. B. L. Encapsulação por gelificação iônica: uma revisão narrativa. In: CORDEIRO, C. A. M.; SILVA, E. M.; BARRETO, N. S. E. (org.). *Ciência e Tecnologia de Alimentos: pesquisa e práticas contemporâneas*. 2021. p. 503–516.

41. GOUIN, S. Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends. *Trends in Food Science & Technology*, v. 15, p. 330–347, 2004.

42. AZEREDO, H. M. C. Encapsulação: aplicação à tecnologia de alimentos. *Alimentos e Nutrição*, v. 16, n. 1, p. 89–97, 2005.

43. SCHROOYEN, P. M. M.; MEER, R. V. D.; KRUIF, C. G. Microencapsulation: its application in nutrition. *Proceedings of the Nutrition Society*, v. 60, p. 475–479, 2001.

44. DONG, W.; BODMEIER, R. Encapsulation of lipophilic drugs within enteric microparticles by a novel coacervation method. *International Journal of Pharmaceutics*, v. 326, p. 128–138, 2006.

45. MADENE, A.; JACQUOT, M.; SCHER, J.; DESOBRY, S. Flavour encapsulation and controlled release – a review. *International Journal of Food Science & Technology*, v. 41, p. 1–21, 2006.

46. ONWULATA, C. I. Microencapsulation and functional bioactive foods. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 37, p. 510–532, 2013.

47. CONSTANT, P. B. L.; STRINGHETA, P. C. Microencapsulação de ingredientes alimentícios. *Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 36, n. 1, p. 12–18, 2002.

48. TERRONI, H. C.; JESUS, J. M.; ARTUZO, L. T.; VENTURA, L. V.; SANTOS, R. F.; DAMY-BENEDETTI, P. C. L. Liofilização. *Revista Científica da UNILAGO*, v. 1, n. 1, p. 271–284, 2013.

49. STRALLER, G.; LEE, G. Shrinkage of spray-freeze-dried microparticles of pure protein for ballistic injection by manipulation of freeze-drying cycle. *International Journal of Pharmacology*, v. 532, n. 1, p. 444–449, 2017.

50. SCHAFFAZICK, S. R.; GUTERRES, S. S.; FREITAS, L. D. L.; POHLMANN, A. R. Caracterização e estabilidade físico-química de sistemas poliméricos nanoparticulados para administração de fármacos. *Química Nova*, v. 26, n. 5, p. 726–737, 2003.

51. RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Update on natural food pigments: a mini-review on carotenoids, anthocyanins, and betalains. *Food Research International*, v. 124, p. 200–205, 2019.

52. MAHDAVI, S. A.; JAFARI, S. M.; GHORBANI, M.; ASSADPOOR, E. Spray-drying microencapsulation of anthocyanins by natural biopolymers: a review. *Drying Technology*, v. 32, n. 5, p. 509–518, 2014.

53. BALDIN, J. C.; MICHELIN, E. C.; POLIZER, Y. J.; RODRIGUES, I.; GODOY, S. H. S.; FREGONESI, R. P.; TRINDADE, M. A. Microencapsulated jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) extract added to fresh sausage as natural dye with antioxidant and antimicrobial activity. *Meat Science*, v. 118, p. 15–21, 2016.

MICROENCAPSULAÇÃO DE BACTÉRIAS LÁCTICAS PROBIÓTICAS E PREBIÓTICO INCORPORADOS EM SUCO MISTO DE ACEROLA E UMBU

MICROENCAPSULATION OF PROBIOTIC AND PREBIOTIC LACTIC BACTERIA INCORPORATED IN MIXED ACEROLA AND UMBU JUICE

DOI: 10.65747/conali2025v3c15

Maria Eduarda Barreto Bezerra[1]; Michelle Maria Barreto de Souza[2]; Vitória Brenda do Nascimento Souza[3], Thaís Regina Rodrigues Vieira[4]; Amanda Rafaela Carneiro de Mesquita[5], Maria Inês Sucupira Maciel[6]

[1]Mestranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos/DCC/UFRPE/eduarda.barreto@ufrpe.br; [2]Pós-doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos/DCC/UFRPE/dra.michellebarretonutri@gmail.com; [3] Doutoranda em Nutrição/DN/PPGN/UFPE/vitoria.brenda@ufpe.br; [4] Doutoranda em Ciência e Tecnologia dos Alimentos/PPGCTA/UFPEL/thaistrrv@gmail.com. [5] Doutora em Ciências farmacêuticas/DTR/UFRPE/arcmesquita@hotmail.com; [4] Professora titular/DCC/UFRPE/m.inesdcd@gmail.com

Resumo: A adição de prebióticos e probióticos em alimentos tem atraído o interesse de pesquisadores devido aos seus efeitos bifidogênicos e de termoproteção. Embora os simbióticos sejam uma área promissora, há escassez de estudos combinando múltiplos microrganismos probióticos e prebióticos em um único produto, especialmente com matérias-primas vegetais. Este trabalho visa verificar a viabilidade celular e as características físico-químicas das microcápsulas. Três cepas de *Lactobacillus* foram microencapsuladas em um mini *spray drying* (140 °C e 0,60 L/h) usando 20% de maltodextrina 10 DE como agente encapsulante e 1% de β-glucano como prebiótico, que foram inoculados nas polpas de frutas, sendo 60% de acerola e 40% de umbu. O processo de microencapsulação alcançou taxas de sobrevivência celular de 7,33 ± 0,33 log UFC/g provando ser uma técnica viável e relativamente barata para proteger células probióticas. Baixo teor de umidade (5,12% ± 0,25) e baixa atividade de água (0,38 ± 0,01) indicando reduzida disponibilidade de água livre para ocorrência de reações químicas e crescimento microbiológico. O valor das coordenadas de cor obtidas do pó (L* 72,94 ± 0,77; a* 11,39 ± 0,09; b* 17,42 ± 0,14) demonstrou que as condições operacionais foram viáveis, pois não alteraram drasticamente os pigmentos. O pH mais ácido (2,70 ± 0,03) indica que a fermentação láctica foi realizada no substrato. Esses resultados destacam o potencial da microencapsulação facilitando o desenvolvimento de pós alimentícios funcionais.

Palavras–chave: β-glucano; L*actobacillus* spp.; *spray dryer*; suco misto.

Abstract: Adding prebiotics and probiotics to food has garnered researcher interest due to their bifidogenic and thermoprotective effects. While symbiotics are a promising field, there's a lack of studies combining multiple probiotic microorganisms and prebiotics in a single product, especially with plant-based raw materials. This work aims to verify the cell viability and evaluate the physicochemical characteristics of microcapsules. Three Lactobacillus strains were microencapsulated in a mini spray dryer (140 °C and 0.60 L/h) using 20% maltodextrin 10 DE as encapsulating agent and 1% β-glucan as prebiotic, which were inoculated into the pulps fruits, 60% acerola and 40% umbu. The microencapsulation process achieved cell survival rates of 7.33 ± 0.33 log CFU/g, proving to be a viable and relatively inexpensive technique to protect probiotic cells. Low moisture content (5.12% ± 0.25) and low water activity (0.38 ± 0.01) indicated reduced availability of free water for the occurrence of chemical reactions and microbiological growth. The value of the color coordinates obtained from the powder (L* 72.94 ± 0.77; a* 11.39 ± 0.09; b* 17.42 ± 0.14) demonstrated that the operational conditions were viable, as they did not drastically alter the pigments. The more acidic pH (2.70 ± 0.03) also indicates that lactic fermentation was carried out in the substrate. These results highlight the potential of microencapsulation to facilitate the development of functional food powders with properties that are beneficial to individual health.

Keywords: β-glucan; *lactobacillus* spp.; mixed juice; spray dryer

INTRODUÇÃO

O enriquecimento de sucos de frutas com probióticos e prebióticos (simbióticos) vem sendo muito estudado pelos efeitos promotores que a combinação desses agentes pode promover (1). Simbióticos que combinam probióticos e prebióticos representam uma abordagem inovadora para o desenvolvimento de alimentos funcionais com benefícios à saúde, aprimorados em comparação com seus componentes individuais (2).

Dentre as cepas probióticas, destacam-se *Lacticaseibacillus casei, Lacticaseibacillus rhamnosus e Lactiplantibacillus plantarum*, as quais apresentam importante funcionalidade na redução do colesterol, prevenção dos distúrbios gastrointestinais, como a modulação da diarreia associada a antibióticos, melhoramento da barreira intestinal e alívio das doenças inflamatórias intestinais (3; 4; 5).

Além dos probióticos, o β-glucano é um prebiótico que possui propriedades anti-inflamatórias, antioxidantes, antitumorais e age principalmente na regulação da microbiota intestinal. O β-glucano apresenta características importantes no tratamento de doenças intestinais, como a doença inflamatória intestinal e o câncer colorretal (6).

Neste contexto, sucos de frutas podem ser considerados como excelentes alimentos funcionais alternativos, devido à sua grande quantidade de componentes saudáveis como vitaminas, antioxidantes e polifenóis, que exercem vários benefícios à saúde humana. A percepção dos consumidores sobre bebidas à base de frutas como alternativas mais saudáveis tem impulsionado o desenvolvimento de novos produtos no mercado, que vêm crescendo exponencialmente em todo o mundo. Por esta razão, uma grande variedade de pesquisas vem se concentrando na produção de sucos

fermentados, além de serem uma alternativa para aqueles que não consomem laticínios (7; 8; 9).

Neste cenário destaca-se a acerola e umbu. A alta concentração de compostos bioativos da acerola e seu reconhecido valor nutricional juntamente com os teores de sais minerais, atividade antioxidante, compostos fenólicos e carotenoides do umbu, faz delas excelentes candidatas para o desenvolvimento de novos alimentos funcionais com efeitos promissores à saúde humana (10; 11).

Como o armazenamento prolongado é frequentemente necessário, os produtos simbióticos comerciais devem ter uma vida útil estendida. Reduzir a atividade de água e o nível de umidade intracelular inibe as funções e mantém as células em uma condição inerte. A microencapsulação melhora o armazenamento, o manuseio e a administração de probióticos, protegendo-os de fatores ambientais e condições adversas no trato gastrointestinal. Esse processo facilita sua liberação controlada no organismo, o que pode simplificar seu uso em terapias sem comprometer sua eficácia (12).

Dentre os métodos de microencapsulação, destaca-se o *spray drying*, que consiste em transformar uma suspensão fluida em partículas secas, sendo amplamente utilizada para encapsular ingredientes alimentares sensíveis ao calor, como compostos bioativos e probióticos usando um agente encapsulante, que atua como um material de revestimento, o qual permite a produção de pós de alta qualidade (13). A microencapsulação por *spray drying* apresenta uma diversidade de vantagens como custo-benefício, aplicabilidade em ingredientes de larga escala, controle na formação das partículas e consequentemente nas propriedades morfológicas e químicas do produto (14). A maltodextrina é um carboidrato muito utilizado no processo de microencapsulação por *spray drying* por ser econômico, altamente solúvel e possuir baixa higroscopicidade (15).

Diante dos argumentos expostos, observando o cenário de crescente interesse por parte da indústria e ativo desenvolvimento de pesquisas sobre esse tema, o trabalho surge com o objetivo de desenvolver suco misto de acerola e umbu simbiótico microencapsulado por *spray drying*, verificar a viabilidade celular dos *Lacticaseibacillus casei* LPAA 02*, Lacticaseibacillus rhamnosus* LPAA 01 e *Lactiplantibacillus plantarum* LPAA 03 antes e após a microencapsulação e avaliar as características físico-químicas das microcápsulas.

MATERIAL E MÉTODOS

MATÉRIA-PRIMA E MICRORGANISMOS

Frutos de umbu foram adquiridos do Banco Ativo de germoplasma do Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA) e frutos de acerola foram adquiridos no Centro de Abastecimento e Logística de Pernambuco - CEASA, localizado na cidade do Recife – PE.

A maltodextrina 10 DE (Ingredion) foi usada como agente encapsulante. Três espécies do gênero *Lactobacillus* spp., catalogadas na Coleção de Cultura do Departamento de Tecnologia Rural - DTR da UFRPE, provenientes do *American Type Culture Collection* (ATCC), como: *Lacticaseibacillus rhamnosus* LPAA 01, *Lacticaseibacillus casei* LPAA 02 e *Lactiplantibacillus plantarum* LPAA 03 foram

utilizados. β-glucano (Roval®), fibras solúveis derivadas dos grãos de aveia, foi adicionado como prebiótico.

ATIVAÇÃO DA CULTURA MICROBIANA

Culturas de *Lactobacillus* spp. foram mantidas em meio MRS (De Man, Rogosa e Sharpe) contendo óleo mineral. Subcultivos de *Lactobacillus* spp. foram realizados mensalmente em meio líquido MRS e incubados a 35 °C durante 48 horas, em seguida estas culturas foram mantidas sob refrigeração a 4 °C. A reativação foi realizada pela transferência da cultura mantida no caldo MRS para um novo caldo MRS, em uma proporção de 10% (v/v) do volume inicial de fermentação. A partir desta transferência foi iniciada a fermentação que durou 48 horas (9).

TESTE DE PUREZA

O controle microbiológico foi realizado periodicamente por meio da coloração de Gram e teste de catalase para verificar pureza das culturas de *Lactobacillus* spp. Colônias das diferentes espécies de *Lactobacillus* spp. foram coradas pelo método de Gram, onde se caracterizam bacilos Gram positivos curtos.

O teste para detectar a presença de catalase foi realizado de acordo com Sharpe (16), sendo a ausência de bolhas indicativo de teste negativo.

PREPARO DO SUCO MISTO

Inicialmente os frutos foram despolpados em despolpadeira (Bonina compacta NB-10) e congelados a -22 °C em sacos de polietileno de alta densidade. Para obtenção do suco misto de acerola e umbu simbiótico, as polpas foram descongeladas e peneiradas em peneira de aço inox. A inoculação da cultura microbiana foi realizada em 500 g de suco, sendo 60% de acerola e 40% de umbu, proporção selecionada de acordo com Ribeiro et al. (17) de forma a obter concentração de 10^{10} UFC/g. O suco foi fermentado a 35 °C durante 24 horas em anaerobiose (9).

OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS

A maltodextrina 10 DE foi adicionada na concentração de 20% no suco misto fermentado. Posteriormente, foi adicionado cerca de 50% de água destilada (para diluir o suco e facilitar o uso no *spray drying*) e 1% de β-glucano. Sendo esta mistura mantida sob agitação em homogeneizador (Tecnal TE-102) até completa dissolução e submetida a microencapsulação por *spray drying* que foi realizada em mini atomizador LM, modelo MSD 1.0 (LABMAQ do Brasil LTDA), operando com temperatura do ar de entrada de 140 °C, vazão de alimentação de 0,6 L/h, bico injetor de 1,2 mm de diâmetro, fluxo de ar de 30 m^3/h e pressão do ar de 0,6 bar (9). O pó obtido foi acondicionado em vidros hermeticamente fechados e armazenados em ambiente seco e sem incidência de luz solar.

VIABILIDADE CELULAR

A viabilidade celular dos *Lactobacillus* spp. foi realizada antes e após a microencapsulação do suco misto simbiótico. Antes da microencapsulação, foi realizada

a contagem de células viáveis em placas por meio de diluições seriadas, até 10^{-7}, em água peptonada estéril (MERCK) (0,1% p/v). Alíquotas de 1 mL das diluições foram inoculadas em triplicata em placas com meio ágar MRS, utilizando técnica *pour plate*, e incubadas invertidas a 35 °C durante 72 horas, em anaerobiose. Placas com 20 a 350 colônias foram contadas e registradas em log Unidades Formadoras de Colônias (UFC)/g de suco simbiótico.

Após microencapsulação, 1 grama do produto em pó foi dissolvido em 9 mL de água peptonada estéril a 0,1% (diluição 10^{-1}) e mantido a 25 °C durante 30 minutos para liberar as células. A contagem de células viáveis foi realizada como descrito acima.

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Com finalidade de caracterizar o suco misto simbiótico microencapsulado por *spray drying*, todas as determinações foram realizadas em triplicata (9), de acordo com os procedimentos descritos a seguir:

Atividade de água: Realizada com o auxílio do equipamento analisador de atividade de água (“Operator’s manual Decagon clevis”, AQUA LAB - 4TE) a 25 °C.

Umidade: Foi determinada em balança infravermelho (MARTE - IDSO) a 105 °C durante 30 minutos. Os resultados foram expressos em (%).

Potencial hidrogeniônico (pH): Determinado por meio da diluição do pó em água destilada (1:5 p/v) e posterior medida direta utilizando pHmetro com eletrodo de vidro (TECNAL TEC-5 - Piracicaba/SP).

Cor: Foi avaliada em colorímetro (Minolta CR-400, Konica Minolta, Sensing Inc), operando em sistema CIELAB (L*a*b*).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

TESTE DE PUREZA E VIABILIDADE CELULAR

As colônias das diferentes espécies de *Lactobacillus* spp. coradas pelo método de Gram, caracterizaram-se como bacilos Gram positivos curtos (Figura 1). Além disso, o teste para detectar a presença de catalase indicou a ausência de bolhas, o que indica que as bactérias não produzem essa enzima, o que é característico de *Lactobacillus* spp.

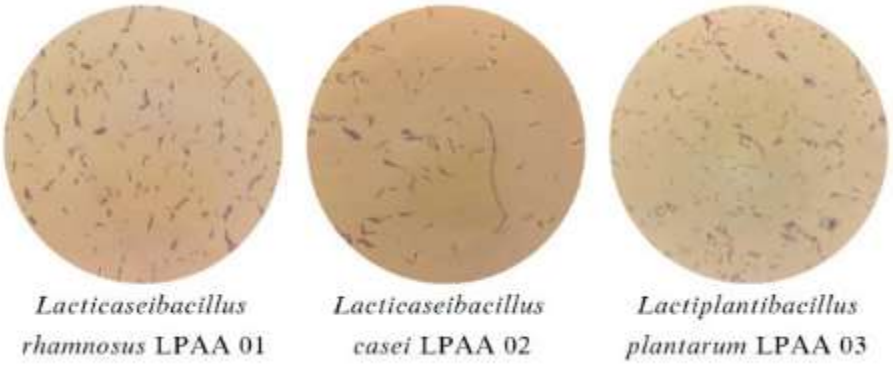


Figura 1 - *Lactobacillus* spp. corados pelo método Gram

Fonte: Autores, 2025

No presente estudo, a contagem inicial de probióticos no suco misto de acerola e umbu simbiótico antes da microencapsulação foi de 9,61 ± 0,32 log UFC/g. De acordo com a Tabela 1, a microencapsulação por *spray drying* causou uma perda de viabilidade probiótica de 2 log UFC/g. Esses resultados demonstram que a maltodextrina é uma boa matriz encapsulante para alta sobrevivência de probióticos, e os açúcares presentes no suco misto de acerola e umbu também podem ter contribuído para a sobrevivência durante a microencapsulação, visto que os açúcares atuam como termoprotetores (18). De modo geral, a maltodextrina atua como um bom material encapsulante e prebiótico moderado para alta sobrevivência de probióticos (18). A viabilidade microbiana do suco misto de acerola e umbu simbiótico microencapsulado foi semelhante ao de Guedes et al. (19), onde as cepas de *Lactobacillus*, entre elas as de *Lactoplantibacillus plantarum* adicionadas de β-glucano apresentaram perda de 1 log UFC/g após serem submetidas à liofilização, afirmando o efeito protetor do β-glucano na viabilidade dos probióticos. Números semelhantes também foram apresentados por Souza et al. (9) e Neuenfeldet et al. (20) no qual houve redução de 2 logs UFC/g da viabilidade dos *Lactobacillus* spp. no suco misto de acerola e ciriguela e extrato de mirtilo, respectivamente, após submetidos a microencapsulação por *spray drying*.

Tabela 1 - Viabilidade celular e propriedades físico-química do suco misto de acerola e umbu microencapsulado por *spray drying*

Análises	**Média ± Desvio Padrão**
Viabilidade celular (log UFC/g)	7,33 ± 0,33
Atividade de água	0,38 ± 0,01
Umidade (%)	5,12 ± 0,25
pH	2,70 ± 0,03

Cor	
L*	72,94 ± 0,77
a*	11,39 ± 0,09
b*	17,42 ± 0,14

Fonte: Autores, 2025

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

As microcápsulas do suco misto simbiótico apresentaram baixo teor de atividade de água <0,40 (Tabela 1), faixa típica de produtos microencapsulados por *spray drying* (21), apresentando estabilidade do ponto de vista microbiológico. Atividades de água superiores a 0,40 favorecem as reações metabólicas e de desenvolvimento microbiano e podem contribuir para aumento da pegajosidade e aglomeração (22; 23). Além disso, níveis baixos de atividade de água reduzem significativamente a oxidação lipídica e a degradação enzimática, potencialmente prolongando a vida útil das matrizes em pó (24).

De acordo com Broeckx et al. (25), níveis de umidade em torno de 4% são recomendados para prevenir reações de deterioração, como oxidação lipídica, e para garantir a viabilidade bacteriana por períodos prolongados. Os valores obtidos neste estudo de 5% de umidade (Tabela 1) foram ligeiramente superiores aos valores ideais mencionados anteriormente. Isso pode ser atribuído à presença de maltodextrina, visto que microcápsulas contendo maltodextrina, em comparação com outros materiais de revestimento, podem apresentar valores de aw mais elevados devido à sua estrutura menor e mais ramificada (26). Embora esses valores permaneçam abaixo dos limites de risco e indiquem condições favoráveis para produtos microencapsulados, garantindo sua estabilidade e funcionalidade durante o armazenamento, estudos futuros poderiam explorar ajustes nos materiais de revestimento para reduzir ainda mais esses valores (2).

Mohamadzadeh et al. (27) obtiveram melhor resposta de aw e teor de umidade para suspensões com maltodextrina e pectina. A temperatura do *spray drying* afeta o teor de água nos pós, sendo este parâmetro fundamental para preservar a estabilidade e a viabilidade dos probióticos (28; 29). Minj; Anand (30) relataram um teor de umidade de 0,91 ± 0,08% e 0,64 ± 0,14% com temperatura de 200 °C, materiais de parede hidrolisado de proteína do soro de leite e maltodextrina no encapsulamento probiótico. Barajas-Álvarez et al. (29) registraram um teor de umidade de 6,67 ± 0,57% e aw de 0,31 ± 0,02 em *Lactobacillus rhamnosus* microencapsulado por *spray drying* com maltodextrina e goma arábica.

O pH serve como um importante parâmetro que indica o nível de acidez do alimento, variando de 1 a 14 e exerce influência sobre o sabor e a proliferação microbiana no alimento. De acordo com os resultados (Tabela 1), o suco misto de acerola e umbu simbiótico apresentou um valor de pH acidificado. Isto deve-se também ao processo fermentativo causado pela presença de bactérias lácteas, estando abaixo de 4,5, assegurando a viabilidade do produto do ponto de vista microbiológico, sendo

classificado como um alimento muito ácido (pH abaixo de 3,7). Amostras fermentadas apresentam valores de pH abaixo de 3,8. A queda de pH nas amostras fermentadas é esperada, devido à produção de ácido lático durante a fermentação, no entanto, esses valores foram ligeiramente inferiores aos valores de pH de 4,0 e 4,2 relatados por Mariscal et al. (31) para *Lactobacillus plantarum* Lp29 e *Lactobacillus acidophilus* LA3, respectivamente.

Os parâmetros de cor L*, a* e b* fornecem informações sobre a aparência visual do suco misto de acerola e umbu simbiótico microencapsulado. O alto valor de L* (Tabela 1) indica uma cor clara, enquanto os valores de a* e b* sugerem uma tonalidade levemente avermelhada e amarelada, respectivamente (Tabela 1). A redução da vermelhidão foi relatada recentemente pelo aumento da temperatura de entrada do *spray drying* (32). Fenômeno semelhante também foi observado para pós de laranja, cenoura (33), romã (32) e amla (34) na técnica de microencapsulação por *spray drying*, o que pode ser atribuído à destruição de componentes sensíveis ao calor, como carotenos e pigmentos antocianínicos. Nesse estudo, observou-se que ao reconstituir o produto em água potável a coloração ficou bem similar ao suco antes da microencapsulação evidenciando a eficiência da maltodextrina 10 DE na preservação dos pigmentos. Esses valores podem ser utilizados como referência para o controle de qualidade do pó durante o processo de produção e armazenamento.

CONCLUSÕES

O crescimento dos *Lacticaseibacillus rhamnosus* LPAA 01, *Lacticaseibacillus casei* LPAA 02 e *Lactiplantibacillus plantarum* LPAA 03 no suco misto de acerola e umbu não apenas demonstra a adaptabilidade das bactérias aos substratos não lácteos, mas também abre novos caminhos para o desenvolvimento de pós alimentícios à base de sucos de frutas probióticos. Aproveitando a flexibilidade desses *Lactobacillus* spp., é possível criar produtos simbióticos inovadores que combinam os benefícios à saúde do indivíduo pela ingestão controlada de microrganismos e prebióticos como β-glucano, além dos sucos ricos em nutrientes. A população bacteriana após o processo de microencapsulação por *spray drying* foi superior a 10^{-6} log UFC/g, provando ser uma técnica viável e relativamente barata para proteger células probióticas. Além disso, o suco misto de acerola e umbu simbiótico microencapsulado por *spray drying* apresentou propriedades físico-químicas adequadas para a produção de pós alimentícios, incluindo umidade, atividade de água, pH e cor.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco – FACEPE e ao Instituto Agronômico de Pernambuco – IPA.

REFERÊNCIAS

(1) LASCANO, R. A. et al. Physico-chemical properties, probiotic stability and sensory characteristics of *Lactobacillus plantarum* S20 – supplemented passion fruit (Passiflora edulis f. flavicarpa Deg.) juice powder. **Food Research**, v.4, p.320-326, 2020.

(2) RAMÍREZ-DAMIÁN, M. et al. Synbiotic Microencapsulation of *Lactobacillus* Strains from Mexican Fermented Beverages for Enhanced Probiotic Functionality. **Molecules**, v.30, p.1185, 2025.

(3) GUO, X. et al. Effects of apple juice fermented with *Lactobacillus plantarum* CICC21809 on antibiotic-associated diarrhea of mice. **Journal of Functional Foods**, v.99, p.105334, 2022.

(4) TANG, C. et al. Yogurt-derived *Lactobacillus plantarum* Q16 alleviated high-fat diet-induced non-alcoholic fatty liver disease in mice. **Food Science and Human Wellness**, v.11, p.1428-1439, 2022.

(5) ANDRADE, D. et al. Microencapsulation of presumptive probiotic bacteria *Lactiplantibacillus plantarum* CCMA 0359: Technology and potential application in cream cheese. **International Dairy Journal**, v.143, p.105669, 2023.

(6) HAN, M. et al. Layer-by-layer coated probiotics with chitosan and liposomes exhibit enhanced therapeutic effects for DSS-induced colitis in mice. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.269, p.132063, 2024.

(7) OLIVEIRA, A. et al. Impact of food matrix components on nutritional and functional properties of fruit-based products. **Current Opinion in Food Science**, v.22, p.153-159, 2018.

(8) MANTZOURANI, I. et al. Functional pomegranate beverage production by fermentation with a novel synbiotic L. paracasei biocatalyst. **Food Chemistry**, v.308, p.125658, 2020.

(9) SOUZA, M. et al. New functional non-dairy mixed tropical fruit juice microencapsulated by spray drying: Physicochemical characterization, bioaccessibility, genetic identification and stability. **LWT-Food Science and Technology**, v.152, p.112271, 2021.

(10) XU, M. et al. Metabolomic analysis of acerola cherry (*Malpighia emarginata*) fruit during ripening development via UPLC-Q-TOF and contribution to the antioxidant activity. **Food Research International**, v.130, p.108915, 2020.

(11) ADERNE, I. et al. Potencial nutricional e funcional da farinha da casca de umbu (*Spondias tuberosa* Arruda Cam.). **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, (s.l.), v. 11, n. 2, p. 964-974, 23 maio 2021. Grupo Verde de Agroecologia e Abelhas.

(12) NOGUEZ, C. G. et al. Microencapsulation and Probiotic Characterization of *Lactiplantibacillus plantarum* LM-20: Therapeutic Application in a Murine Model of Ulcerative Colitis. **Nutrients**, v.17, p.1-25, 2025.

(13) ZHANG, Y. et al. The application of dietary fibre as microcapsule wall material in food processing. **Food Chemistry**, v. 463, p. 141195, 2024.

(14) BALDELLI, A. et al. Spray dried powder of common fruit juices: Enhancement of main properties. **Powder Technology**, v.441, p.119560, 2024.

(15) TURK-GUL, A. et al. The effects of different amounts of maltodextrin on the rheological behaviour and stability of white cheese emulsions, and the physical, microstructural, chemical and sensory properties of white cheese powders. **Internacional Dairly Journal**, v.138, p.105552, 2023.

(16) SHARPE, M. E. The genus *Lactobacillus*. In: STARR, M. P. (Eds). **The prokaryotes**, Springer-Verlag, v.2, p.1653, 1981.

(17) RIBEIRO, C. et al. Optimization of the spray drying process conditions for acerola and seriguela juicemix. **Food Science and Technology**, 2018.

(18) CARVALHO, A. et al. Effects of Addition of Sucrose and Salt, and of Starvation upon Thermotolerance and Survival during Storage of Freeze-Dried *Lactobacillus delbrueckii* ssp. bulgaricus. **Journal Food Science**, v.68, p.2538-254, 2023.

(19) GUEDES, J. et al. Protective effects of β-glucan extracted from spent brewer yeast during freeze-drying, storage and exposure to simulated gastrointestinal conditions of probiotic lactobacilli. **LWT-Food Science and Technology,** v.116, p.108496, 2019.

(20) NEUENFELDT, N. et al. Effects of blueberry extract co-microencapsulation on the survival of *Lactobacillus rhamnosus*. **LWT-Food Science and Technology**, v.155, p.112886, 2022.

(21) MEDEIROS, F. et al. Fermentation of American elderberry juice yields functional phytochemicals for spray dried protein–polyphenol ingredients. **Food Research International**, v.201, p.115536, 2025.

(22) SHELKE, G. et al. Physical and functional stability of spray-dried jamun (Syzygium cumini L.) juice powder produced with different carrier agents. **Journal of Texture Studies**, v.54, p.560-570, 2023.

(23) TONTUL, I.; TOPUZ, A. Spray-drying of fruit and vegetable juices: Effect of drying conditions on the product yield and physical properties. **Trends in Food Science & Technology**, v.63, p.91-102, 2017.

(24) FIGURA, L.; TEIXEIRA, A. Water Activity. In Food Physics (pp. 1–57). **Springer International Publishing**, 2023.

(25) BROECKX, G. et al. Enhancing the Viability of *Lactobacillus rhamnosus* GG after Spray Drying and during Storage. **International Journal of Pharmaceutics**, v.534, p.35-41, 2017.

(26) KALITA, D. et al. Characteristics of Synbiotic Spray Dried Powder of Litchi Juice with *Lactobacillus plantarum* and Different Carrier Materials. **LWT-Food Science and Technology**, v.87, p.351-360, 2018.

(27) MOHAMADZADEH, M. et al. Viability and stability evaluation of microencapsulated *Lactobacillus reuteri* in polysaccharide-based bionano-composite. **Carbohydrate Polymers**, 347, 2025.

(28) RAJAM, R.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* (MTCC 5422) with fructooligosaccharide as wall material by spray drying. **Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie**, v.60, p.773-780, 2015.

(29) BARAJAS-ÁLVAREZ, P. et al. Microencapsulation of *Lactobacillus rhamnosus* HN001 by spray drying and its evaluation under gastrointestinal and storage conditions. **Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie,** v.153, p.112485, 2022.

(30) MINJ, S.; ANAND, S. Development of a spray-dried conjugated whey protein hydrolysate powder with entrapped probiotics. **Journal Dairy Science**, v.105, p.2038–2048, 2022.

(31) MARISCAL, M. et al. Comparative lactic acid fermentation with five Lactobacillus strains of supernatants made of extruded and saccharified chickpea flour. **International Journal of Food Science & Technology**, v.58, p.397-405, 2023.

(32) GHALEGI, M. et al. Physico-chemical and nutritional properties of pomegranate juice powder produced by spray drying. **Drying Technology**, v.39, p.1941-1949, 2021.

(33) SIDLAGATTA, V. et al. Effect of maltodextrin concentration and inlet air temperature on properties of spray dried powder from reverse osmosis concentrated sweet orange juice. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.63, 2020.

(34) MISHRA, P. et al. Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Emblica officinalis*) juice powder. **Food and Bioproducts Processing**, v.92, p..252-258, 2014.

O USO DE LEITE DE BÚFALA PARA FABRICAÇÃO DE NOVOS PRODUTOS LÁCTEOS

THE USE OF BUFFALO MILK FOR THE MANUFACTURE OF NEW DAIRY PRODUCTS

DOI: 10.65747/conali2025v3c16

Lailla Thaline dos Santos[1]; Michelly Andrade da Silva[1]; Tamara Lucia dos Santos Silva[2] ; Odara Luiza dos Santos[1]

[1]Estudantes do Curso Superior de Tecnologia em Laticínios – IFAL; E-mail: Lts4@aluno.ifal.edu.br

[2]Docente do Instituto Federal de Alagoas – IFAL.

Resumo: A produção leiteira se destaca como uma das principais aptidões dos bubalinos e é considerada de grande importância em vários países ao redor do mundo, em 2012 segundo dados da Organização das Nações Unidas 14% do leite produzido no mundo foi de origem bubalina. O leite de búfala possui maior quantidade de sólidos totais, possibilitando maior rendimento na fabricação de produtos lácteos. O maior rendimento do leite na industrialização somado ao maior valor agregado em seus produtos finais têm estimulado os laticínios a remunerar essa matéria-prima a preço superior ao valor pago ao leite bovino. Assim, este trabalho tem por objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre a aptidão do leite de búfala para fabricação de novos produtos lácteos. Foi realizado um apanhado de artigos científicos pelo google acadêmico, dentre os artigos após a leitura, foram selecionados 32 artigos para serem utilizados nesta revisão, foram selecionados artigos dos últimos 15 anos para construção do texto, trazendo desde referências sobre os aspectos físico-químicos, microbiológicos e sensoriais do leite de búfala, até as vantagens do beneficiamento deste leite. Conclui-se durante a construção desta revisão que queijos produzidos exclusivamente com leite de búfala são muito bem aceitos pelo mercado consumidor, o qual está disposto a pagar um preço diferenciado pelo produto.

Palavras–chave: Búfala; derivados; lácteos e leite

Abstract: Milk production stands out as one of the main skills of buffaloes and is considered of great importance in several countries around the world. In 2012, according to data from the United Nations, 14% of the milk produced worldwide was of buffalo origin. Buffalo milk has a higher total solids content, enabling higher yields in the manufacture of dairy products. The higher milk yield in industrial processing, combined with the higher added value of its final products, has encouraged dairies to price this raw material at a higher price than cow's milk. Therefore, this work aims to conduct a literature review on the suitability of buffalo milk for the manufacture of new dairy products. A collection of scientific articles was compiled through Google Scholar. After reading these articles, 32 were selected for use in this review. Articles from the last 15 years were selected for the text, covering everything from the physical-chemical, microbiological, and sensory aspects of buffalo milk to the advantages of processing it.

This review concluded that cheeses made exclusively from buffalo milk are very well received by consumers, who are willing to pay a premium price for the product.

Keywords: Buffalo; derivatives; dairy products and milk

INTRODUÇÃO

Segundo dados de 2018 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, o país já alcançou a marca de 1,4 milhões de cabeças de búfalos criados (1).

A bubalinocultura é uma atividade tradicional na região norte do Brasil, detentora dos maiores rebanhos nacionais, o estado do Amazonas, segundo dados do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento possui o quarto maior rebanho nacional com uma população da ordem de 86.864 animais em 2020, com destaque para os municípios de Autazes, Itacoatiara, Parintins e Barreirinha (2).

Em uma matéria veiculada no “Jornal Valor Econômico” em 20 de outubro de 2014, Rocha (2014) (3) expõe que os avanços no mercado brasileiro de queijos têm sido tão satisfatórios, que têm atraído o interesse de empresas estrangeiras interessadas em oportunidades de crescimento no país.

Nos últimos cinquenta anos, o crescimento da produção de leite de búfala foi de 301,0%, ao contrário do leite de vaca que nesse mesmo período alcançou apenas 59,3%, o de leite de cabra 85,0% e o de ovelha 54,5%, o que sinaliza indiscutivelmente a importância da evolução da bubalinocultura leiteira (4).

O conhecimento da composição físico-química do leite de búfala tem um grande significado para um maior desenvolvimento do processamento industrial dessa matéria prima em produtos de qualidade para o consumidor, pois além das perdas econômicas, defeitos na qualidade do leite podem significar riscos para a saúde pública (5). Atualmente a criação de búfalos está presente nas cinco regiões do país, o Brasil conta com um rebanho de 1.502.482 cabeças de búfalos (6).

Esse leite apresenta algumas peculiaridades em comparação ao leite bovino, destacando-se o sabor adocicado, devido ao elevado extrato seco, evidenciado pelo maior teor de lactose (7). O leite de búfala é muito utilizado na fabricação de queijos e cada tipo requer uma técnica de produção específica, sendo que quando processados a partir do leite de búfala geralmente apresentam maior rendimento (8)(9).

Segundo Mirmahmoudi e Prakash (2012) (10) a importância econômica na exploração desses animais reside também, nas vantagens proporcionadas quanto à fertilidade, longevidade, eficiência de conversão alimentar e aptidão para a produção de leite, carne e trabalho.

Diante disto viu-se a necessidade de realizar uma revisão bibliográfica sobre o assunto, trazendo informações importantes sobre o leite bubalino como, seus aspectos microbiológicos, físico-químicos, nutricionais e sensoriais, além, da história da bubalinocultura e também o potencial de beneficiamento deste leite.

REFERENCIAL TEÓRICO

BUBALINOCULTURA

Segundo Vasconcelos (2012) (11), alguns animais que seriam destinados a Guiana Francesa de navio, vindo do Porto de Nantes na França em 1895, devido ao naufrágio da embarcação, conseguiram nadando até a ilha do Marajó, se adaptando muito bem às condições locais, e sendo inicialmente criados extensivamente pelos habitantes da região.

Com um rebanho de mais de 1,5 milhões de cabeça, o Brasil tem destaque no cenário mundial na criação de bubalinos, e seu contingente encontra-se distribuído da seguinte forma: 1.088.593 cabeças 68,11% do total na região Norte, sendo o Pará o maior criador do País; 139.239 cabeças no Nordeste 8,7% do total, sendo o Maranhão o maior criador da região; 219.947 cabeças no Sudeste 13,7% do total, sendo São Paulo o maior criador da região; 96.209 cabeças no Sul 6,19% do total, sendo o Rio Grande do Sul o maior criador da região; e 54.280 cabeças no Centro-Oeste 3,3% do total, sendo Goiás o maior criador da região (12).

Atualmente a ABCB reconhece 4 raças oficiais no território brasileiro, sendo respectivamente: Carabao; Jafarabadi; Mediterrâneo; e Murrah. Ambas possuem aptidões para carne e leite, caracterizando-se como boas fontes de matérias primas, para produtos de origem animal. A raça Carabao apresenta um peso médio de 650kg nos machos e 475kg fêmeas, com uma média de 1000L de leite em 295 dias de lactação, sendo por esse motivo mais utilizada para trabalhos de tração, e atualmente é a raça com menos exemplares no país. A raça Jafarabadi possui um peso médio de 1200kg nos machos e 775Kg nas fêmeas, com uma produção leiteira de aproximadamente 2.150L em 319 dias de lactação, se destacando por ser a maior das raças presentes no país. Já a raça Mediterrâneo apresenta um peso de 750kg nos machos e 600kg nas fêmeas, com uma produção leiteira de 2.871L em 319 dias de lactação, sendo a raça com maior potencial produtivo para leite. E a raça Murrah, apresenta um peso médio 625Kg nos machos e 525Kg de peso vivo nas fêmeas, com uma produção de 1.650L em 305 dias de Lactação, sendo a raça mais difundida no Brasil (13).

A rusticidade dos búfalos permite criação em ambientes alagados e pantanosos, onde possivelmente bovinos não seriam capazes de demonstrar o mesmo potencial. A apreensão de plantas existentes em locais de difícil acesso, maior resistência a ectoparasitas, menor frequência de mastite, maior resistência às infecções parasitárias e às intoxicações por plantas, tornam a espécie bubalina altamente resistente às diversas condições edafoclimáticas brasileiras (14).

Comparada à espécie bovina, a bubalina possui aparelho digestivo com maior espaço e maior população microbiana, sendo mais eficaz na realização da conversão alimentar, e menos seletiva que o bovino (15).

A estacionalidade na produção é um gargalo que necessita ser minimizado, através de técnicas de manejo que visem a maior homogeneidade na distribuição de partos. Não adianta ter elevadas produções de leite somente em um período do ano se a demanda por produtos ocorre o ano todo, o produtor perde, pois não tem produção de leite constante o ano todo e os laticínios também já que, dependem da produção de leite para a confecção dos derivados e abastecimento do mercado (16).

LEITE DE BÚFALA

Segundo a legislação brasileira, o leite é definido como o produto proveniente de ordenha completa, ininterrupta, em condições higiênicas, de vacas sadias, bem alimentadas e descansadas. Para o leite de outras espécies, é obrigatório utilizar a denominação correspondente à espécie animal. É permitida a mistura de leite de diferentes espécies, desde que isso seja explicitamente indicado na denominação de venda do produto e que a porcentagem de leite de cada espécie seja informada na rotulagem (17).

Os búfalos contribuem com 11% do total da produção mundial de leite. A população de búfalos no mundo é de 201,1 milhões (18). A exploração leiteira dos bubalinos é uma atividade que tem crescido no mundo nos últimos anos e entre 2010 e 2020 esse crescimento foi de aproximadamente 45% (19). Isto ocorreu principalmente devido às características apresentadas pelo leite, que possui níveis elevados de proteína, gordura e minerais quando comparado ao leite da vaca bovina (20) (21) (22).

Embora tenha maior teor de gordura, o leite de búfala (e seus derivados) possui maior concentração de proteína, minerais e ácidos graxos insaturados e menor de colesterol em relação ao de vaca, podendo ser consumido em dietas humanas saudáveis (23).

O leite bubalino é o segundo mais produzido no mundo, ficando atrás apenas do leite bovino, e em 2019 representava aproximadamente 15% da produção mundial de leite (24). De acordo com a OECD/FAO (2021) (24), uma colaboração entre a Organização para o Desenvolvimento da Cooperação Econômica (OECD) e a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), essa produção deve aumentar 1.7% ao ano na próxima década para atender ao aumento do consumo mundial de produtos lácteos, impulsionado pelo aumento da população e da renda em países em desenvolvimento.

No Brasil, ainda não existe uma legislação que regulamente o padrão de CCS para búfalas e o uso de parâmetros utilizados para bovinos tem-se mostrado inadequado, pois os valores das contagens são significantemente menores em bubalinos do que nos bovinos (26).Como ainda não há limites legais para as características exclusivas do leite bubalino produzido pela granja ou recebido pela indústria, algumas indústrias buscam atender aos requisitos da Instrução Normativa nº 62 (IN62) do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2011), independentemente da sua origem (26).

Medeiros *et al.,* (2011) (27), o qual avaliou o perfil de células somáticas e a mastite subclínica em búfalas no Nordeste do Brasil (Pernambuco, Alagoas, Bahia e Ceará). Eles indicam que o exame microbiológico do leite é o melhor método para diagnóstico da mastite subclínica em búfalas, porque como as fêmeas bubalinas têm uma resistência maior à infecção mamária, é comum se ver animais com alta CCS sem apresentar-se em quadro infeccioso, sendo, portanto, a contagem bacteriana o método mais indicado para diagnóstico da mastite nesta espécie. Mesmo assim, a contagem de células somáticas pode ser um indicador de qualidade do leite bubalino.

Além da perda econômica e queda da qualidade do leite, a mastite também está associada a questões de bem-estar animal e saúde pública, já que, pode ocasionar

resíduos no leite, devido ao uso impróprio de produtos antimicrobianos, e o surgimento de bactérias resistentes (28).

Alguns aspectos devem ser levados em consideração para essa espécie, por ter peculiaridades, logo o manejo desenvolvido para bovinos especificamente não deve em sua totalidade ser transferido aos bubalinos, por essas distinções. Mesmo porque ainda se atribui aos bubalinos a imagem de que possuem baixa fertilidade, carne e leite de baixa qualidade, entretanto isso só ocorre devido às condições em que ainda são criados, que não favorecem a expressão de seu potencial genético (29).

ASPECTOS FÍSICO-QUÍMICOS DO LEITE DE BÚFALA

A análise das características físico-químicas do leite é uma importante ferramenta utilizada nas plataformas de recepção dos laticínios, pois os resultados destas análises permitem não só avaliar a integridade da matéria-prima, mas também ajudam na identificação de eventuais fraudes (30).

Do ponto de vista químico, o leite de búfala, assim como o leite das demais espécies apresenta na sua composição substâncias como, água, gordura, proteínas, carboidratos, enzimas, sais minerais, vitaminas e células em geral (31). De acordo com o mesmo autor, todos esses componentes se apresentam de forma equilibrada, mas suas concentrações podem variar de acordo com alguns fatores, como a raça do animal, clima, período de lactação, estação do ano (31).

Quando comparado a outros tipos de leite, como o de vaca, o leite bubalino é uma opção mais nutritiva, tendo elevado teor de vitaminas (A, D e B2), proteínas e minerais, bem como baixo índice de colesterol (32). O estudo de Rangel *et al*., (2011) (31), mostrou que o estágio de lactação é um dos fatores importantes que afetam a concentração de proteínas no leite. Esses pesquisadores verificaram que o teor de proteína se mostrou maior no início e no final da lactação.

O leite de búfala apresenta propriedades distintas, com maior rentabilidade e concentrações superiores de proteína, gordura e sais, em comparação com o leite de vaca. Essas características realçam sua relevância para a saúde humana (33). Pode-se observar no Quadro 1 um comparativo dos parâmetros físico-químicos entre leite bovino e leite de búfala.

Quadro 1. Comparativo dos parâmetros físico-químicos entre leite bovino e leite de búfala.

Parametros	Leite Bovino	Leite de Búfala	p-valor*
Umidade%	92,13 ± 0,17	88,81 ± 0,26	< 0,001
Solidos soluveis totais, SST (ºBrix)	8,81 ± 0,17	10,62 ± 0,03	< 0,050
pH	7,04 ± 0,02	6,80 ± 0,00	< 0,001
Acidez (ºD)	13,73 ± 0,46	20,73 ± 0,83	< 0,001

Viscosidade (cSt)	47,17 ± 0,21	47,93 ± 0,03	< 0,050
Densidade (g/mL)	1,1526 ± 0,0005	1,2296 ± 0,0005	< 0,001
Condutividade elétrica, CE (mS/cm)	3,76 ± 0,23	4,64 ± 0,01	< 0,001

Legenda: Valores expressos em termos de média de três replicatas ± desvio padrão.*p-valor correspondente ao teste t de Student para dados não pareados (α = 5 %).

Fonte: Serra *et al.,* 2025 (34).

Dentre outras características que se destacam no leite de búfala, uma delas diz respeito a β-caseína, uma das proteínas presente no leite de diversas espécies, essa proteína apresenta um diferencial em sua conformação ao que se refere às variantes genéticas presentes nos aminoácidos, denominando assim o leite de búfala como do tipo A2A2. Essa característica auxilia na redução da inflamação durante a digestão da proteína, evitando processos alérgicos no organismo (35) (36).

A fabricação de derivados lácteos a base de leite A2A2 é uma área ainda pouco explorada, tendo em vista que a produção desse tipo de leite ainda é muito pequena, cerca de menos de 1%, pois a sua produção e comercialização é, principalmente, proveniente de vacas que foram geneticamente selecionadas, já que no Brasil e no mundo, o maior consumo de leite é majoritariamente de vaca (37).

O leite de búfala apresenta níveis mais elevados de proteína total, ácidos graxos de cadeia média, Ácido Linoleico Conjugado (CLA) e teores de retinol e tocoferóis do que os do leite de vaca (38). Os níveis de Ácido Linoléico Conjugado – CLA encontrados pela literatura foram de 0,12 g/100g para o Local A e 0,13 g/100g para o Local B (39).

A elevação do CLA é a opção mais interessante para o leite e derivados de ruminantes, não só pelas inúmeras evidências de funcionalidade, relacionadas à propriedades anticarcinogênica, antioxidante, fator de crescimento, lipólise e/ou redução da lipogênese, especialmente no tecido adiposo abdominal, e aumento da resposta imune, mas também pela singularidade da sua presença na gordura de ruminantes, uma vez que a síntese natural desta molécula tem como origem a fermentação ruminal a partir dos lipídios dietéticos (40).

De acordo com Santos (2022) (41), dentre os constituintes físico-químicos do leite de búfala estudados o teor de gordura foi o que mais variou ao longo dos meses observados, apresentando um alto coeficiente de variação de 30,99%, com uma média de 6,25±1,93%, com níveis observados de 3,04% ao valor máximo encontrado de 10,78%. Segundo Figueiredo (2010) (42), as médias dos lipídeos encontrados de 8,14% - Local A e 8,22% - Local B comprovam o alto nível de gordura desta matéria-prima, o que favorece decisivamente para o aumento do rendimento na fabricação de derivados como o queijo. Tonhati *et al*., (2011) (43) encontraram as médias de rendimento de gordura 90,1 ± 24,6 g.kg-1.

A lactose é um hidrato de carbono, mais especificamente um dissacarídeo, que é composto de dois monossacarídeos: glicose e galactose (Vidal e Netto, 2018). Também conhecida como açúcar do leite, sendo praticamente o único que nele existe e se apresenta no leite de todos os mamíferos.

Pesquisas apontam que o leite de búfala apresenta quantidade notável e diversificada de compostos bioativos, com destaque para as imunoglobulinas, lactoferrina, lisozima, lactoperoxidase, ácido linoleico conjugado (CLA), gangliosídeos e oligossacarídeos, secretados em sua forma ativa na glândula mamária (45). Sendo os bioativos importantes substâncias estimulantes do sistema imunológico, o hábito de consumir leite de búfala poderá ser útil no tratamento das doenças ligadas à baixa imunidade (46).

Fatores ambientais podem modificar a composição do leite desses animais de modo considerável, alterando principalmente as características físico-químicas em proporções maiores do que se observa no leite de vaca (47)).

DERIVADOS LÁCTEOS

No Brasil, a produção de leite de búfala e seus derivados recentemente vêm ganhando importância, mesmo sem existir, ainda legislação federal específica que regularize o padrão de identidade e qualidade do leite e seus derivados. (48). Ainda de forma pouco difundida, é possível encontrar nos supermercados brasileiros, além da muçarela, outros produtos feitos com leite de búfala, como manteiga, ricota, cottage, requeijão e queijo parmesão. Economicamente, o leite de búfala é vantajoso para a produção de laticínios por apresentar maior quantidade de sólidos (49).

A utilização do leite de búfala na elaboração de derivados tem sido pesquisada em diferentes regiões do mundo, destacando-se alguns tipos de queijos, iogurte e outros leites fermentados (50). Sua importância está na sua transformação em derivados, uma vez que sua rica composição nutricional, e principalmente seus níveis de lipídeos, possibilita alto rendimento industrial. Pode ser utilizado tanto para consumo in natura ou para elaboração de diversos derivados (51) (52).

O maior rendimento do leite na industrialização somado ao maior valor agregado em seus produtos finais têm estimulado os laticínios a remunerar essa matéria-prima a preço superior ao valor pago ao leite bovino (53).

Destaca-se ainda o iogurte de búfala, conhecido por sua cremosidade e riqueza nutricional, tornando-se valorizado pelos consumidores por seus benefícios à saúde intestinal. Observa-se que a alta concentração de proteínas e minerais do leite de búfala melhora tanto consistência do produto como seu valor nutricional. Ademais, a manteiga de búfala, apreciada por sua textura suave e sabor rico, também se beneficia das características nutricionais do leite, que contém mais gordura e vitamina A em comparação ao leite de vaca (54).

De acordo com Domenico (2023) (55), pelas características apresentadas, o leite de búfala torna-se uma matéria prima de qualidade para a elaboração de queijos e outros derivados. Todas as suas propriedades refletem nos produtos derivados, que além de possuírem inúmeros benefícios para a saúde, ainda demonstram um rendimento quase 50% superior ao do leite bovino. No Brasil, o leite de búfala destina-se principalmente ao mercado de derivados como a mozzarella, entretanto, prospectar o desenvolvimento de outros produtos como um queijo Colonial com leite bubalino, poderá ser uma alternativa importante, considerando o atual cenário de desenvolvimento de produtos artesanais e seu respaldo legal.

Apesar de suas peculiares características e de ter um promissor potencial de utilização como matéria-prima para fabricação de alimentos com agregada utilidade nutricional e funcional, o leite de búfala ainda não alcançou o papel de destaque merecido na mesa dos consumidores brasileiros. Na linha de pesquisa, observa-se, ainda, uma carência de estudos sobre diversas possibilidades de utilização desse alimento e, inclusive, sobre seu uso em substituição ao leite de outras espécies (56).

CONCLUSÕES

Se faz necessário o incentivo às pesquisas sobre o leite de búfala em seus aspectos nutricionais e em relação ao manejo da ordenha e alimentação desses animais, já as pesquisas demonstram que as condições de produção de leite utilizadas para leites de outras espécies não se adequam ao leite bubalino. Mas, a procura pelos derivados desse leite já se faz interessante pelo público.

A produção de novos derivados lácteos utilizando o leite de búfala se mostra promissor e vem apresentando expressivo crescimento no Brasil, diante da bibliografia existente é perceptível a boa aceitação dos produtos já existentes e comercializados por consumidores que buscam produtos inovadores com sabores diferenciados e nutricionalmente atrativos. O leite de búfala traz um alto valor nutritivo e benefícios para a saúde humana, o que torna os produtos lácteos atraentes, já que há um aumento na procura por produtos que vão além do interesse sensorial.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos membros do grupo de pesquisa NATTA - Núcleo de ações, estudos e pesquisa em tecnologias e tradições de alimentos. Agradeço também a nossa professora e orientadora Tâmara Lúcia por todo incentivo nos dado.

REFERÊNCIAS

1. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: Produção de pecuária municipal. 2018. Disponível em: < https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2018_v46_br_informativo.pdf
2. BRASIL. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Efetivo do rebanho bubalino por cidade. 2020. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/bubalinos/br.
3. ROCHA, A.A. 2014. Mercado de queijos cresce no país e atrai estrangeiros. Matéria. Jornal Valor Econômico. Disponível em: Acesso em outubro de 2014.
4. JORGE, A.M., COUTO, A.G., CRUDELi, G.A., PATiÑO, E.M. Produção de búfalas de leite. Botucatu: FEPAF, 2011. 181p. Acesso em: https://www.revistamvez-crmvsp.com.br/index.php/recmvz/article/view/255. Acesso em: 22 out. 2025.
5. MIHAIU, M. A.; et al. Researches regarding leptin's influence on the fat and protein percent in buffalo milk‖, e.q. Scientific papers in veterinary medicine XLIII, Timişoara. 2010. Acesso em: https://www.usab-tm.ro/vol10bMV/44_vol10b.pdf.

6. BRASIL. IBGE - Instituto Brasileiro de geografia e estatística. Efetivo do rebanho bubalino por cidade. 2020. Acesso em: https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939#resultado.
7. DALMASSO, A.; CIVERA, T.; LA NEVE, F.; BOTTERO, M. T. Simultaneous detection of cow and buffalo milk in mozzarella cheese by Real-Time PCR assay. Food Chemistry, Londres, v. 124, n. 1, p. 362-366, 2011. Acesso em: http://dx.doi.org/10.1016/j. foodchem.2010.06.017.
8. NERES, L. S.; LOURENÇO JUNIOR, J. B.; PACHECO, E. A.; MONTEIRO, R. C. R.; SATO, S. T. A.; LIMA, S. C. G.; GARCIA, A. R.; NAHUM, B. S. Iogurte de leite de búfala saborizado com manga (Mangifera indica L.): aceitação sensorial e custo de produção. Agroecossistemas, v. 4, n. 2, p. 79-84, 2012. Acesso em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/961023/1/PROCI-2013.00053.pdf.
9. VIEIRA, R. G.; FALCÃO FILHO, R. S.; DUARTE, T. F.; PESSOA, T. R. B.; QUEIROGA, R. C. R. E.; MOREIRA, R. T. Acceptability and sensory preference of cheese curds elaborated with female buffalo, goat and cow milk. Revista do Instituto da Laticínios Cândido Tostes, Juiz de Fora, v. 363, n. 63, p. 12-16, 2011.
10. MIRMAHMOUDI, R.; PRAKASH, B.S. The endocrine changes, the timing of ovulation and the efficacy of the Doublesynch protocol in the Murrah buffalo (Bubalus bubalis). Elsevier, v.177, p.153-159, 2012. Acesso em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S001664801200086X.
11. VASCONCELOS, A.T.C. Búfalos no Maranhão. São Luís, MA: Printed in Brazil, 2012. Acesso em: https://recima21.com.br/recima21/article/view/4188/2970.
12. NETO, Osman José de Aguiar Gerude, et al. Aspectos da cadeia produtiva de búfalos no Brasil: uma revisão. *RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218*, 2023, 4.10: e4104188-e4104188.
13. CAVALI, J.; PEREIRA, R. G. A. Produção leiteira de búfalos. Pecuária leiteira na Amazônia. Brasília, DF: Embrapa, 2020.p. 391-399. Acesso em: https://fileserver.core.ac.uk/pdf/pdf/339923064.pdf.
14. BASTIANETTO, E.; BARBOSA, J. D. Diferenças fisiológicas entre bubalinos e bovinos: interferência na produção. 2015.
15. BERNARDES, O. Produção de búfalas leiteiras. In. IV Simpósio Nacional de Bovinocultura Leiteira (SIMLEITE), 2013, n.1, p. 279-316.
16. ANDRIGUETTO FILHO, J. M. A mudança técnica e o processo de diferenciação dos sistemas de produção pesqueira do Litoral do Paraná, Brasil Technical change and differentiation of small-scale fisheries production systems in the coast of Paraná, Brazil.
17. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n.º 51, de 29 de dezembro de 2017.
18. FAO. Food safety risk analysis. An overview and framework manual. Rome, 2018.
19. FAOSTAT. 2021. Food And Agriculture Organization Of The United Nations Statistics.
20. Zanela MB, Kolling GJ, Vazquez Fernandez VN, Ribeiro MER, Canellas LC, Lopes FPN, Pereira KP. 2011. Composição química do leite de búfala. Embrapa Clima Temperado. Conferência Internacional sobre Leche Inestable. Colonia: Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria de Uruguay, 65.
21. Pignata MC, Fernandes SAA, Ferrão SPB, Faleiro AS, Conceição DG. 2014. Estudo comparativo da composição química, ácidos graxos e colesterol de leites de búfala e vaca. Revista Caatinga, Mossoró, 27(4):226 –233.
22. Godinho FMS, Krug M, Muller A, Jank L, Tomaszewski CA, Hillesheim DR, Kinast EJ, Frazzon APG, Motta AS. 2020. Microbiological and physicochemical 64 characteristics of buffalo milk used for dairy products in southern Brazil. Journal of Dairy Research.

23. Pignata MC, Fernandes SAA, Ferrão SPB, Faleiro AS, Conceição DG. 2014. Estudo comparativo da composição química, ácidos graxos e colesterol de leites de búfala e vaca. Revista Caatinga, Mossoró, 27(4):226 –233.
24. FAOSTAT. 2021. Food And Agriculture Organization Of The United Nations Statistics.
25. MEDEIROS,E.S.; BARBOSA, S.B.P.; JATOBÁ, R.B.; AZEVEDO, S.S.; PINHEIRO 72 JUINIOT, J.N.; SAUKAS, T.N.; ALBURQUEQUE, P.P.F.; MOTA, R.A. Perfil da contagem de células somáticas na infecção intramamária em búfalas na Região Nordeste do Brasil. Pesquisa Veterinária Brasileira, v. 3, p.219-223, 2011.
26. SALES, Danielle Cavalcanti. *Queijo mozzarella: rendimento e sua relação com o leite, o processamento e a recuperação de constituintes*. 2016. Master's Thesis. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
27. MEDEIROS, E.S.; et al. Perfil da contagem de células somáticas na infecção intramamária em búfalas na Região Nordeste do Brasil. Pesquisa Veterinária Brasileira, Rio de Janeiro, v.31, n.3, p.219-223, 2011.
28. DE VLIEGHER, S; FOX, L. K.; PIEPERS, S; MCDOUGALL, S; BARKEMA, H. W. Invited review: Mastitis in dairy heifers: Nature of the disease, potential impact, prevention, and control. Journal of Dairy Science, Lancaster, v. 95, n. 3, p. 1025-1040, n. 2012.
29. SANTOS, Edberto Rodrigues dos. Composição físico-química e Contagem de Células Somáticas (CCS) no leite de búfala produzido no município de Parintins, Baixo Amazonas. 2022.
30. FAVA, L. W.; PINTO, A. T. Ocorrência de leite ácido e de resíduos de antimicrobiano no leite cru entregue em laticínios na região do Vale do Taquari, RS, Brasil. Acta Scientiae Veterinariae. v.38, n. 4, p. 419 - 423, 2010.
31. RANGEL, N.H.A., et al. Influência do Estádio de lactação sobre a composição do leite de búfalas. Acta Vet. Brasilica, v.5, n.3, p.306-310, 2011.
32. Amaral FR, Carvalho LB, Silva N, Brito JRF. 2005. Qualidade do leite de búfalas: composição. Rev Bras Reprod Anim Belo Horizonte. 29(2):106-10.
33. SILVA, G. C.; RIBEIRO, L. F. OS BUBALINOS NO BRASIL E A PRODUÇÃO DE LEITE. Revista GeTeC, v. 10, n. 27, 2021.
34. SERRA, Mihaeli Ribeiro, et al. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA COMPARATIVA DO LEITE IN NATURA DE BÚFALAS DA REGIÃO DA ILHA DO MARAJÓ E DE VACAS DA RAÇA GIR. *REVISTA FOCO*, 2025, 18.8: e9376-e9376.
35. BARBOSA, Marina Gomes et al. Leites A1 e A2: revisão sobre seus potenciais efeitos no trato digestório. Segurança alimentar e nutricional, v. 26, p. e019004-e019004, 2019.
36. XIMENES, Cindy Anne Klausberger. Proteína alergênica do leite: estudo exploratório sobre a β-Caseína A1 e A2 em búfalos leiteiros. Rio Grande do Sul, 2019.
37. EMBRAPA. Embrapa Gado Leite. Anuário Leite 2023: leite baixo carbono. Juiz de Fora, 2023.
38. AHMAD, S. F. M.; et al. Composition and physico-chemical characteristics of buffalo milk with particular emphasis on lipids, proteins, minerals, enzymes and vitamins. The Journal of Animal and Plant Sciences, 23 (1 Suppl.): p. 62-74, 2013.
39. FIGUEIREDO, Elaine Lopes; JÚNIOR, José de Brito Lourenço; TORO, Maricely Janette Uria. Caracterização físico-química e microbiológica do leite de búfala “in natura” produzido no estado do Pará. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, 2010, 4.1.
40. Bomfim MAD, Queiroga RCE, Aguila MB, Medeiros MC, Fisberg M, Rodrigues MT, et al. Abordagem multidisciplinar de P,D&I para o desenvolvimento de

produto lácteo caprino com alto teor de CLA e alegação de propriedade funcional. Rev Bras Zootec 2011;40(1):98-106.
41. SANTOS, Edberto Rodrigues dos. Composição físico-química e Contagem de Células Somáticas (CCS) no leite de búfala produzido no município de Parintins, Baixo Amazonas. 2022.
42. FIGUEIREDO, Elaine Lopes; JÚNIOR, José de Brito Lourenço; TORO, Maricely Janette Uria. Caracterização físico-química e microbiológica do leite de búfala "in natura" produzido no estado do Pará. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, 2010, 4.1.
43. TONHATI, H.; et al. Milk fatty acid characterization and genetic parameter estimates for milk conjugated linoleic acid in buffaloes. J. Dairy Res. 4:1-6. 2011.
44. VIDAL, A. M. C., NETTO, A. S.; Obtenção e processamento do leite e derivados - Pirassununga : Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, 2018. 220 p.
45. MILLS, S.; ROSS, R. P.; HILL, C.; FITZGERALD, G. F.;STANTON, C. Milk intelligence: Mining milk for bioactive substances associated with human health. International Dairy Journal, v. 21, p. 377-401, 2011.
46. ABD EL-SALAM, M. H.; EL-SHIBINY, S. Bioactive peptides of buffalo, camel, goat, sheep, mare, and yak milk and milk products. Food Reviews International, v. 29, p. 1-23, 2013.
47. Galvão Júnior, J. G. B., Rangel, A. H. N., Medeiros, H. R., Silva, J. B. A., Aguiar, E. M., Madruga, R. C. & Lima Júnior, D. M. 2010. Efeito da produção diária e da ordem de parto na composição físico-química do leite de vacas de raças zebuínas. Acta Veterin. Bras., 4(1):25-30.
48. GREGORY, L. et al. Ocorrência dos principais agentes bacterianos e parasitários em fezes diarreicas de bezerros búfalos nos estados de São Paulo e Paraná. Arquivos do Instituto Biológico, São Paulo, v. 2, n. 81, p. 180-185, 2014.
49. DA SILVA, Thamires Maria Simões et al. Buffalo milk increases viability and resistance of probiotic bacteria in dairy beverages under in vitro simulated gastrointestinal conditions. Journal of dairy science, v. 103, n. 9, p. 7890-7897, 2020.
50. Lima TCC, Rangel AHN, Macêdo CS, Araújo TPM, Araújo VM, Lima Júnior DM, Murmann L, Novaes LP. 2014. Composition and quality of milk and whey buffalo in Rio Grande do Norte state. Acta Vet. Bras. 8(1):25-30.
51. FIGUEREDO, C. A.; GURGEL, I. G. D.; GURGEL JUNIOR, G. D. A política nacional de plantas medicinais e fitoterápicos: Construção, perspectivas e desafios. Physis, (S. l.), v. 24, n. 2, p. 381–400, 2014.
52. SILVA FILHO, C. R. M. et al. Avaliação da bioatividade dos extratos de cúrcuma (Curcuma longa L., Zingiberaceae) em Artemia salina e Biomphalaria glabrata. Revista Brasileira de Farmacognosia Brazilian Journal of Pharmacognosy, (S. l.), v. 19, n. 4, p. 919–923, 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/rbfar/v19n4/22.pdf. Acesso em: 21 abr. 2021.
53. BRUNA, C. V. O Selo de Pureza da Associação Brasileira dos Criadores de Búfalos. In: II Simpósio da Cadeia Produtiva da Bubalinocultura, 2011. Botucatu. Anais... Botucatu, 2011. CD-roon.
54. ALBENZIO, M. et al. Milk quality of Italian Mediterranean Buffalo as affected by TemperatureHumidity Index during late spring and summer. Journal of Dairy Science, 2024.
55. DI DOMENICO, Vitória Leite. Monitoramento da qualidade do leite de búfala (Bubalus bubalis) produzido na Estação Experimental Agronômica da UFRGS e desenvolvimento do queijo colonial bubalino. 2023.
56. BEZERRA, Francisco Tiago Monteiro. Caracterização do leite de búfala e de seus derivados. 2019.

POTENCIAL PROTEICO E TECNOLÓGICO DE SANGUE ANIMAL E SEUS HEMOCOMPONENTES COMO ADITIVO ALIMENTAR: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

PROTEIN AND TECHNOLOGICAL POTENTIAL OF ANIMAL BLOOD AND ITS BLOOD COMPONENTS AS FOOD ADDITIVES: A SYSTEMATIC REVIEW

DOI: 10.65747/conali2025v3c17

José Gabryel Soares dos Santos[1]; Camille Andrielle Monteiro do Carmo[2]; Anna Júllia Bezerra da Silva[3]

[1]Estudante do Curso de Nutrição - CAV - UFPE; E-mail: jose.gabryel@ufpe.br

[2]Estudante do Curso de Nutrição - CAV - UFPE; E-mail: camille.andrielle@ufpe.br

[3]Docente/pesquisador do Depto de Nutrição - CAV - UFPE; E-mail: annaj.bezerra@hotmail.com

Resumo: Este estudo tem como objetivo realizar uma revisão sistemática acerca da produção científica sobre o sangue animal e seus hemocomponentes em alimentos para consumo humano, destacando as principais áreas de abordagem. Realizou-se uma revisão sistemática nas bases ScienceDirect e Web of Science, utilizando os descritores *"blood ingredient", "blood food", "blood product food", "blood-based food"* e *"blood protein food"*. Foram incluídos artigos completos, em inglês, publicados entre 2004 e 2024, relacionados a aspectos nutricionais e/ou tecnológicos do sangue animal e seus hemocomponentes aplicados à alimentação humana. Após a aplicação dos critérios de elegibilidade, 20 estudos foram selecionados para análise. Destes, 11 artigos abordaram o uso de hemocomponentes como potencial aditivo alimentar; 7 artigos trataram da detecção de hemocomponentes em alimentos e, 2 artigos, da detecção de contaminação microbiológica. Os estudos destacam que o processamento adequado do sangue é essencial para sua qualidade e segurança microbiológica, sendo o manuseio considerado ponto crítico de controle. Técnicas de isolamento e concentração de hemocomponentes vêm sendo exploradas para potencializar a funcionalidade das proteínas, especialmente do fibrinogênio, albumina, globulina e hemoglobina aplicadas como agentes texturizantes, emulsificantes, gelificantes e corantes naturais. Além disso, observou-se interesse crescente em métodos de detecção de hemocomponentes em produtos cárneos, relacionados à prevenção de fraudes, questões regulatórias e barreiras religiosas. Portanto, o uso de sangue animal e hemocomponentes como ingrediente alimentar representa uma estratégia sustentável e uma oportunidade de inovação tecnológica, com potencial nutricional e funcional para diferentes matrizes alimentares.

Palavras–chave: hemocomponentes; ingrediente alimentar; sangue animal

Abstract: This study aims to conduct a systematic review of the scientific literature on animal blood and its hemocomponents in food for human consumption, highlighting the main areas of research. A systematic review was performed using the ScienceDirect and Web of Science databases, with the keywords "blood ingredient," "blood food," "blood product food," "blood-based food," and "blood protein food." The review included full articles in English, published between 2004 and 2024, related to the nutritional and/or technological aspects of animal blood and its hemocomponents applied to human food. After applying the eligibility criteria, 20 studies were selected for analysis. Of these, 11 articles addressed the use of hemocomponents as potential food additives; 7 articles focused on the detection of hemocomponents in food; and 2 articles dealt with the detection of microbiological contamination. The studies emphasize that proper blood processing is essential for its quality and microbiological safety, with handling considered a critical control point. Isolation and concentration techniques for hemocomponents have been explored to enhance the functionality of proteins, particularly fibrinogen, albumin, globulin, and hemoglobin, applied as texturizing, emulsifying, gelling, and natural coloring agents. Furthermore, a growing interest has been observed in methods for detecting hemocomponents in meat products, related to fraud prevention, regulatory issues, and religious barriers. Therefore, the use of animal blood and hemocomponents as food ingredients represents a sustainable strategy and an opportunity for technological innovation, with nutritional and functional potential for different food matrices.

Keywords: animal blood; blood components; food ingredient

INTRODUÇÃO

O sangue animal é um relevante subproduto dos abatedouros industriais, tanto pelos elevados volumes gerados, quanto pela necessidade de tratamento especializado para um descarte ambientalmente adequado, correspondendo, em média, de 3 a 5% do peso corporal do animal vivo, a depender da espécie.[1,2] Com isso, destinar este resíduo para outras finalidades industriais, contribui para redução da poluição ambiental e dos custos de tratamento e descarte.[3]

Muitos países têm em sua culinária tradicional, o uso do sangue como ingrediente principal no preparo de diferentes produtos, como a morcela e o chouriço, típicos de Portugal e países da América do Sul; o tofu de sangue da China; a buchada, o sarapatel e a galinha à cabidela, típicos do Brasil; além de sobremesas como o *sanguinaccio dolce* da Itália, as papas de moado de Portugal e o doce tipo chouriço, típico do nordeste brasileiro. Porém não é comum encontrar a comercialização de produtos à base de sangue no formato industrializado.[4,5]

A aplicação do sangue na indústria é permitida desde que seja obtida a partir da sangria de um animal sadio, que tenha sido inspecionado ante-mortem e post-mortem e, aprovado para consumo humano como carne. Assim como, que os matadouros possuam instalações para coleta que atenda às recomendações higiênico-sanitárias vigentes, seguida de local de resfriamento, antes de seu transporte para uma estação de tratamento aprovada.[6,7]

Do ponto de vista nutricional, o conteúdo de vitaminas, aminoácidos essenciais, minerais e, principalmente, hemoglobina, fibrinogênio, albuminas e as globulinas presentes no sangue animal proporciona um aproveitamento integral deste resíduo agroindustrial, transformando-o em matéria-prima para o desenvolvimento de rações, medicamentos, cosméticos, concentrados e isolados de hemocomponentes, assim

como ingrediente alimentar para fabricação de novos produtos alimentícios destinados ao consumo humano.[8]

Em contrapartida, a utilização de sangue e/ou suas frações proteicas na formulação de produtos alimentícios traz à tona preocupações para aqueles indivíduos que evitam consumir sangue por motivos religiosos, por motivos éticos, como o veganismo, razões culturais ou tabus, por crer que o sangue é rico em patógenos, pela ausência de regulamentações específicas para alimentos sanguíneos, ou simplesmente por uma questão de preferência.[9]

Com isso, considerando todas estas alegações acerca da utilização do sangue na alimentação humana, este estudo tem como objetivo mapear, por meio de uma revisão sistemática, a produção científica relacionada ao uso do sangue animal e seus hemocomponentes na formulação de alimentos destinados ao consumo humano, identificando suas principais aplicações tecnológicas e áreas de destaque.

MATERIAL E MÉTODOS

Trata-se de uma revisão sistemática de literatura, realizada nas bases de dados ScienceDirect e Web of Science, durante o período de junho de 2025 a agosto de 2025. Foram utilizadas como termos de buscas, os descritores "*blood ingredient*", "*blood food*", "*blood product food*", "*blood-based food*" e "*blood protein food*", com os operadores booleanos *"AND"* e *"OR".* Visando alcançar literatura específica e relevante sobre a temática, estes descritores deveriam estar presentes no título, palavras-chave e/ou resumo dos artigos.

Foram usados como critério de inclusão neste estudo: artigos de pesquisa completos, publicados em inglês, no período de 2004 a 2024, e aqueles que em seus estudos avaliaram aspectos nutricionais e/ou tecnológicos do sangue animal e seus derivados que possam ser aplicados na alimentação humana. Foram excluídos artigos de revisão, trabalhos de conclusão de curso, dissertações, teses, resumos de congresso, capítulos de livros e documentos similares. Bem como estudos que utilizaram sangue para fins medicinais, farmacêuticos, cosméticos ou veterinários, pesquisas que abordaram o uso de sangue na alimentação animal e àqueles duplicados.

Após a triagem inicial, 669 artigos foram identificados e, após a aplicação dos critérios de elegibilidade, 20 artigos foram incluídos na análise final, a fim de identificar suas principais aplicações tecnológicas e áreas de destaque, como apresenta o diagrama a seguir.

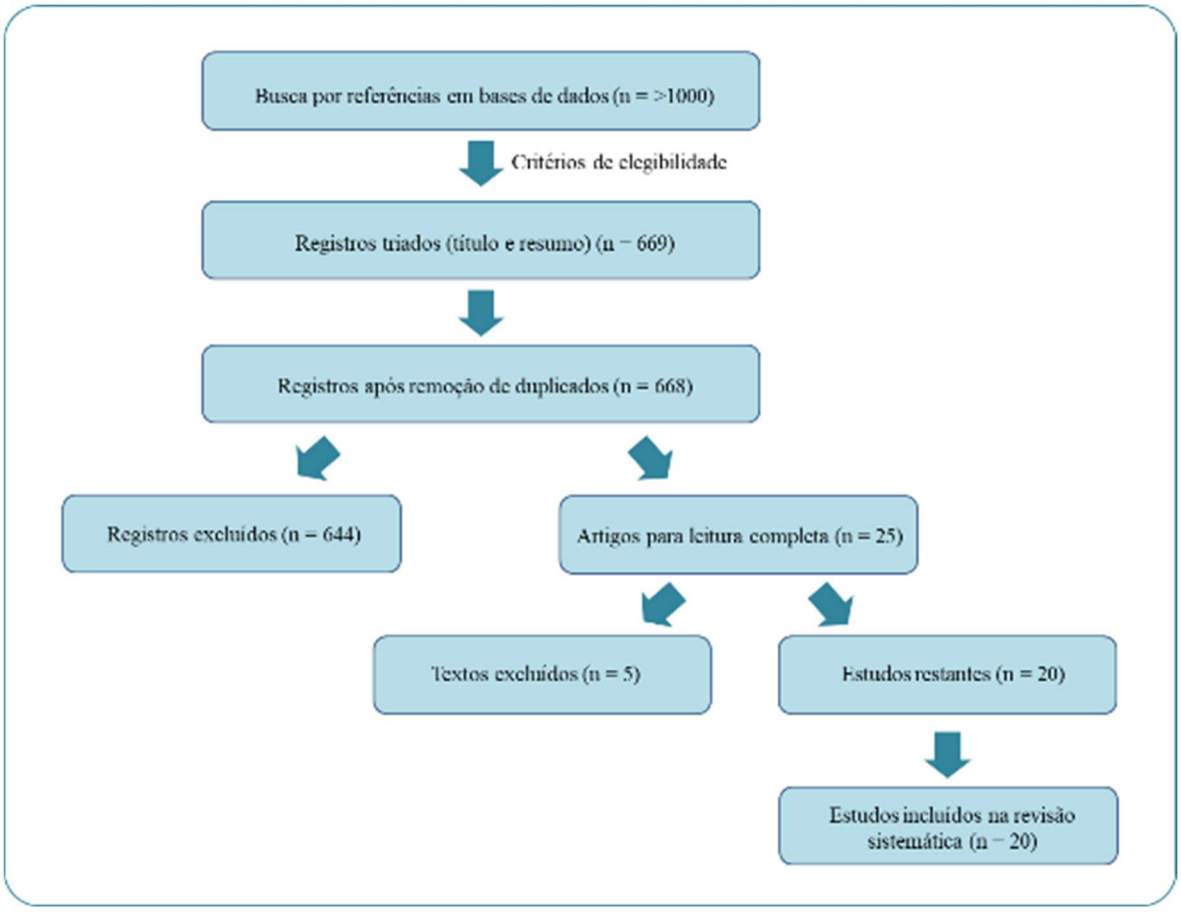


Figura 1 – Diagrama de processo de seleção dos artigos pesquisados. O número de artigos em cada etapa está indicado entre parênteses.

Fonte: Autores, 2025

RESULTADOS E DISCUSSÃO

- **Caracterização dos artigos analisados**

A partir dos critérios de elegibilidade, foram obtidos 20 artigos de pesquisa que tinham como tema central o sangue animal na alimentação humana, com enfoque nas áreas da nutrição e da tecnologia de alimentos, conforme tabela a seguir.

Tabela 1 – Lista de artigos analisados e categorizados de acordo com o assunto principal abordado

nº	Referência (Autor, Ano)	Título do Artigo	Assunto principal
1	Nowak; Mueffling, 2006	Porcine blood cell concentrates for food products: Hygiene, composition, and preservation	Hemocomponentes como ingrediente alimentar

2	Nowak; Mueffling, 2009	Microbiological and Sensory Suitability of a Novel Raw Material from Porcine Blood and Collagenous Rind Protein as an Ingredient in a Fermented Raw Salami-Type Sausage	Hemocomponentes como ingrediente alimentar
3	Grundy et al., 2013	Selected reaction monitoring method to determine the species origin of blood-based binding agents in meats: A collaborative study	Detecção de hemocomponentes em alimentos
4	Parés et al., 2014	Scale-up of the process to obtain functional ingredients based in plasma protein concentrates from porcine blood	Hemocomponentes como ingrediente alimentar
5	Ofori; Hsieh, 2016	Monoclonal Antibodies as Probes for the Detection of Porcine Blood Derived Food Ingredients	Detecção de hemocomponentes em alimentos
6	Boxman et al., 2017	Porcine blood used as ingredient in meat productions may serve as a vehicle for hepatitis E virus transmission	Detecção de contaminação microbiológica em alimento sanguíneo
7	Jira; Schwägele, 2017	A sensitive HPLC-MS/MS method for the simultaneous detection of microbial transglutaminase, and bovine and porcine fibrinogen/thrombin in restructured meat	Hemocomponentes como ingrediente alimentar
8	Ofori; Hsieh, 2017	Immunodetection of Porcine Red Blood Cell Containing Food Ingredients Using a Porcine Hemoglobin-Specific Monoclonal Antibody	Detecção de hemocomponentes em alimentos
9	Jiang et al., 2018	Monoclonal antibody-based ELISA for the quantification of porcine hemoglobin in meat products	Detecção de hemocomponentes em alimentos
10	Izgarishev; Izgarisheva; Ostroumov, 2018	DEVELOPMENT AND STUDY OF FOOD PRODUCT WITH ANTI-ANEMIC AGENT BASED ON FARM ANIMAL BLOOD	Hemocomponentes como ingrediente alimentar
11	Jiang et al., 2020	Monoclonal antibody-based sandwich enzyme-linked immunosorbent assay for porcine hemoglobin quantification	Detecção de hemocomponentes em alimentos

12	Fernandez et al., 2021	Fat substitutes based on bovine blood plasma and flaxseed oil as functional ingredients	Hemocomponentes como ingrediente alimentar
13	Jennings et al., 2021	Microbial Diversity and Abundance of *Parabacteroides* Mediate the Associations Between Higher Intake of Flavonoid-Rich Foods and Lower Blood Pressure	Hemocomponentes como ingrediente alimentar
14	Cha et al., 2022	Effects of added cereal fibers on the quality characteristics of black pudding prepared with duck blood	Hemocomponentes como ingrediente alimentar
15	Csurka et al., 2022[a]	Comparison of techno-functional and sensory properties of sponge cakes made with egg powder and different quality of powdered blood products for substituting egg allergen and developing functional food	Hemocomponentes como ingrediente alimentar
16	Araujo-Rodrigues et al., 2022	Membrane fractionation of *Cynara cardunculus* swine blood hydrolysate: Ingredients of high nutritional and nutraceutical value	Hemocomponentes como ingrediente alimentar
17	Csurka et al., 2022[b]	Membrane separation of porcine blood for food industrial use of permeate and retentate	Hemocomponentes como ingrediente alimentar
18	Han et al., 2022	Machine-learning assisted modelling of multiple elements for authenticating edible animal blood food	Detecção de hemocomponentes em alimentos
19	Gao et al., 2024	Multiplex-PCR method application to identify duck blood and its adulterated varieties	Detecção de hemocomponentes em alimentos
20	Yang et al., 2024	Emergence of rapidly spreading antimicrobial-resistant Salmonella in traditional blood-based foods	Detecção de contaminação microbiológica em alimento sanguíneo

Fonte: Autores, 2025

Estes estudos foram categorizados em três grandes áreas: Categoria A - Uso de hemocomponentes como potencial ingrediente e/ou aditivo alimentar (11 artigos); Categoria B - Detecção de hemocomponentes em alimentos (7 artigos) e; Categoria C - Detecção de contaminação microbiológica em alimentos com sangue (2 artigos), como apresenta a figura 2.

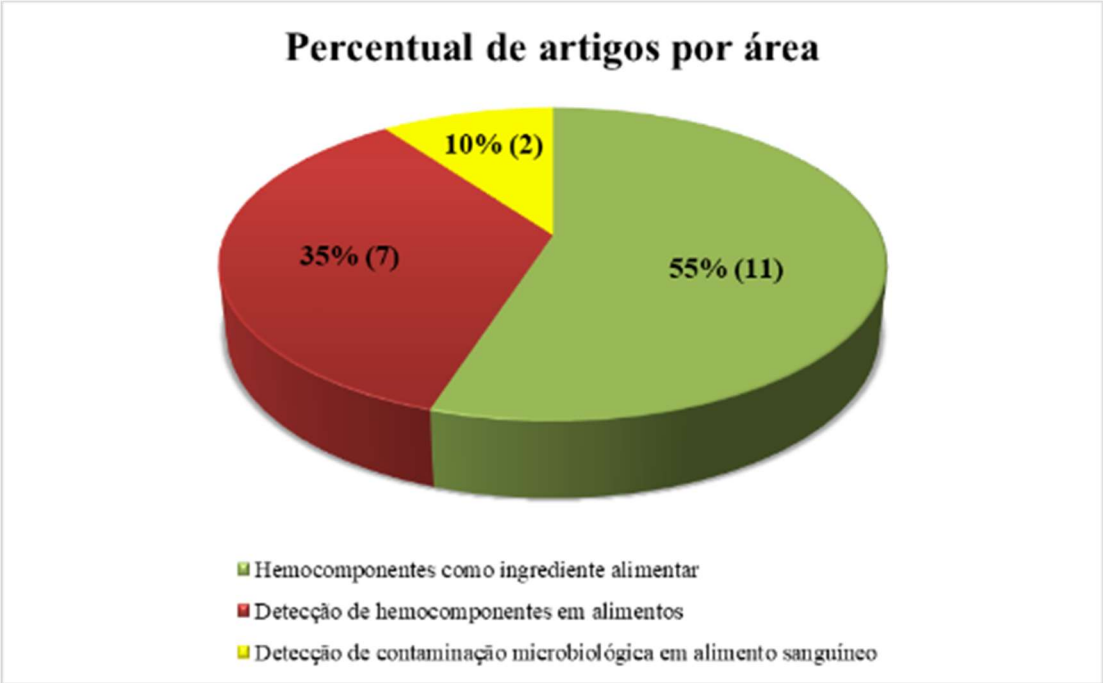


Figura 2 – Percentual dos artigos revisados publicados por categoria de destaque.

Fonte: Autores, 2025

De toda produção científica analisada, 55% dos artigos tiveram abordagens referentes às propriedades tecnológicas das proteínas sanguíneas como agente de emulsificação, gelificação e corante natural na fabricação de produtos cárneos, de panificação, alimentos funcionais ou desenvolvimento de novos produtos. Enquanto 35% dos artigos, correspondem a identificação da presença ou ausência destas frações proteicas, assim como quantificá-las, a fim de investigar possíveis fraudes alimentares, por uso indevido e/ou não declarado em rotulagem.

Figura 3 – Quantidade dos artigos revisados publicados por biênio

Fonte: Autores, 2025

Quanto ao quantitativo de publicações (Figura 3), observou-se uma tendência de crescimento ao longo dos anos, concentrando-se principalmente na última década. O maior pico de publicação foi registrado em 2021/2022, com 7 artigos, correspondendo a 35% das pesquisas analisadas. Este avanço sugere que a inserção do sangue animal na alimentação humana está se consolidando como tema de interesse científico, o que pode estar atrelado às pautas globais de sustentabilidade, aproveitamento de subprodutos e segurança alimentar.

- **Sangue e hemocomponentes como ingrediente alimentar**

Ao considerar o sangue como ingrediente alimentício, suas frações proteicas: o fibrinogênio, albumina, globulina e hemoglobina, constituem o principal foco de interesse. Seja para melhorar o aporte proteico do produto final ou até mesmo por suas propriedades aglutinantes, emulsificantes, gelificantes e de corante natural.[2]

Estas proteínas plasmáticas tem capacidade de gelificar sob tratamentos térmicos e formar emulsões e espumas são suas melhores propriedades, portanto, podem ser considerados bons ingredientes funcionais para a indústria alimentícia, tanto para desenvolvimento de produtos cárneos, produtos de panificação e para desenvolvimento de novos produtos.[8]

Parés et al. (2014) avaliaram a viabilidade de fracionar, concentrar e purificar as proteínas plasmáticas por meio de tecnologia de membranas e, posteriormente, desidratar por spray-drying. Com isso, foi possível isolar o soro e a albumina, transformando em concentrados distintos. Cujo soro manteve as propriedades gelificantes; a albumina exibiu propriedades espumantes semelhantes; e os concentrados de soro e albumina mostraram propriedades emulsificantes ligeiramente melhoradas.[8]

Enquanto Csurka et al. (2022b), investigaram o potencial de separação de sangue suíno em frações de plasma e hemácias, bem como a purificação da membrana

após a separação do sangue suíno. A melhor configuração para obter plasma mais claro e hemácias mais concentradas – ou seja, com maior diferença no teor de matéria seca e menor residual de hemoglobina no plasma – foi com pressão transmembrana de 2 × 10^5 Pa, fluxo de retentado de 200 $l \cdot h^{-1}$ e tamanho de poro de 1,2 µm. Indicando baixa contaminação por hemoglobina e, portanto, melhores características sensoriais. Permitindo a obtenção de frações de plasma e hemácias com características distintas e adequadas para aplicações industriais.

Já Fernandez et al. (2021), investigaram a capacidade do óleo de linhaça com plasma sanguíneo bovino integral desidratado como ingrediente funcional como potencial substituto de gordura saturada em preparações culinárias com alto teor de gordura. Os oleogéis obtidos por aquecimento a 80◦C apresentou maior estabilidade do gel com níveis de oxidação aceitáveis até 18 dias de armazenamento refrigerado, enquanto a gelificação induzida a 60◦C proporcionou grande estabilidade oxidativa lipídica e espalhabilidade sob as mesmas condições. Com isso, a capacidade emulsificante e gelificante do plasma sanguíneo contribui para o uso deste oleogel no desenvolvimento de alimentos funcionais.[18]

Csurka et al. (2022a) analisou a substituição de ovo em pó por produtos de sangue em pó (pó de sangue total, pó de plasma sanguíneo e pó de hemoglobina) na elaboração de bolos para alérgenos à ovo. Estes pós sanguíneos podem escurecer a massa pela ação da hemoglobina, aumentar a dureza, a mastigabilidade e a resistência à quebra dos bolos, permitindo que sejam recheados com mais recheios e moldados em formatos especiais sem comprometer a textura e as características sensoriais. Sendo uma alternativa tecnologicamente viável para produção de bolos funcionais, sendo substitutos eficazes e versáteis para o ovo em bolos.

Izgarishev, Izgarisheva e Ostroumov (2018) desenvolveram um hidrolisado seco e concentrado de hemácias para ser utilizado como ingrediente antianêmico para o desenvolvimento de uma barra tipo sorvete para a prevenção da deficiência de ferro. Os testes físico-químicos, microbiológicos e toxicológicos garantem qualidade, ausência de metais tóxicos e de microrganismos patogênicos. Dando subsídios para utilização deste ingrediente na produção de alimentos funcionais.

Nowak e Mueffling (2009), desenvolveram um concentrado proteico combinado de glóbulos sanguíneos suínos e tecido conjuntivo suíno para ser utilizado como ingrediente em salsicha fermentada do tipo salame cru. O objetivo foi justamente aumentar o aporte proteico do produto e melhorar as propriedades tecnológicas das salsichas, especialmente em relação à textura e à estrutura, sem comprometer a qualidade do produto e sua segurança microbiológica.

Cha et al. (2022) trazem o uso do sangue de pato e implementação de cereais no processo produtivo de morcela. Para a elaboração da morcela, produto descrito como uma salsicha de sangue, tendo usualmente o sangue de porco como ingrediente principal, a base utilizada foi sangue de pato, e da formulação inicial, estabelecida como controle, foram obtidas as variações com adição de aveia, trigo sarraceno, quinoa, amaranto e sorgo, a 2%. Durante o desenvolvimento do projeto, puderam observar os resultados positivos no que tange o rendimento, atividade de água (Aa), pH, redução da coloração amarelada, dureza (com exceção do pudim com amaranto), coesão, viscosidade e mastigabilidade. Contudo, o trabalho dá maior enfoque ao emprego das fibras e cereais, se em comparação com o uso do sangue de pato, com ausência de comparação da morcela comum em relação a de pato. O estudo, não por menos, indica que o desenvolvimento de uma morcela de sangue de pato com cereais empregados

em sua composição é promissor, com estes melhorando significativamente suas propriedades físico-químicas e reológicas, podendo apresentar excelentes características de processamento.[20]

- **Detecção de hemocomponentes em alimentos**

Diante da diversidade de abordagens desenvolvidas para a detecção de hemocomponentes em alimentos, torna-se relevante apresentar os principais métodos descritos na literatura, destacando suas bases analíticas e aplicações práticas. A seguir, estão listados os métodos empregados por diferentes autores nos estudos encontrados.

Tabela 2 - Autores e métodos de detecção de hemocomponentes em alimentos

Autor/Ano	Método utilizado
Grundy et al., 2013	Cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas em tandem (LC–MS/MS)
Ofori; Hsieh, 2016	Aplicação de anticorpos monoclonais
Ofori, Hsieh, 2017	Anticorpos monoclonais, sELISA e cELISA
Jiang et al., 2018	Ensaio imunoenzimático indireto competitivo (icELISA)
Jiang et al., 2020	Cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas em tandem (LC–MS/MS).
Han et al.,2022	Espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), e Espectroscopia de absorção atômica (EAA)
Gao et al., 2024	Reação em cadeia da polimerase múltipla (multiplex-PCR)

Fonte: Autores, 2025

Os estudos analisados evidenciam a importância da rastreabilidade na detecção de hemocomponentes em alimentos, sobretudo diante do risco de fraudes alimentares e da necessidade de transparência para o consumidor. Algumas técnicas como cromatografia líquida acoplada a espectrometria de massas (LC-MS/MS) demonstraram elevada sensibilidade e reprodutibilidade para conseguir identificar a origem animal de frações sanguíneas utilizadas como agentes de ligação, garantindo maior controle regulatório.[11]

De forma complementar, a aplicação de anticorpos monoclonais específicos possibilitou a identificação de proteínas termoestáveis do sangue suíno mesmo após processamentos industriais, atingindo limites de detecção de até 0,01%, o que reforça a eficácia de métodos imunológicos na rastreabilidade.[9] Esses avanços respondem à demanda por uma rotulagem clara, visto que consumidores têm direito de conhecer a composição dos alimentos, especialmente quando o uso de hemocomponentes pode conflitar com aspectos éticos, religiosos ou culturais**.**

O teste iELISA desenvolvido por uso do mAb 24C12-E7 mostrou boa sensibilidade na detecção de pequenas quantidades (≥1%) de hemoglobina suína em carnes cruas, mas sua eficácia diminui após processamentos térmicos intensos, como secagem por pulverização e cozimento, e possui limites de detecção variantes, principalmente em produtos cozidos com aditivos, como carnes bovinas e suínas processadas, sendo mais altos. Apesar das limitações, o iELISA é promissor no monitoramento da hemoglobina suína em alimentos, sobretudo em produtos pouco processados, auxiliando na proteção de consumidores que evitam o consumo de sangue. Além disso, a literatura aponta que o uso não declarado de sangue ou seus derivados em formulações alimentícias levanta sérias questões regulatórias, já que esses ingredientes podem ser empregados como substitutos tecnológicos mais baratos, mas sua omissão na rotulagem caracteriza fraude alimentar.[14,21]

Com o uso do método Multiplex-PCR, Gao et al. (2024) validam um modo para identificar a autenticidade de sangue de pato e quatro variedades comuns de sangue animal adulterados, encontrando com precisão e agilidade sangue animal adulterado em produtos derivados de sangue de pato, apontando as falsificações e diferenciando-as dos produtos genuínos presentes no mercado local.

A metodologia deu-se por extração do DNA genômico usando um método de high-throughput. Os primers específicos foram projetados utilizando o gene do citocromo *b* de sangue de pato, porco, ovelha, vaca e galinha. Este experimento não requisitou instrumentos de detecção grandes e sofisticados, tendo alta especificidade, sensibilidade, repetibilidade e rapidez (5-6 horas para a realização da análise e obtenção dos resultados), economizando muito tempo e custos de teste. De tal modo, pode ser um método rotineiro utilizado para avaliar a fraude em produtos derivados de sangue de pato e possivelmente outros hemoderivados.[25]

Assim, a combinação de métodos analíticos robustos com políticas de transparência constitui um eixo central tanto para a proteção do consumidor quanto para o enfrentamento de práticas fraudulentas no setor alimentício.

- **Detecção de contaminação microbiológica em alimento sanguíneo**

Muito da aversão por alimentos à base de sangue vem da premissa que “o sangue é impuro” e berço de microrganismos patogênicos. Porém, o sangue retirado de um animal saudável é praticamente estéril. Por esta razão, uma inspeção ante-mortem e post-mortem eficiente, aliada a uma coleta com condições higiênico-sanitárias adequadas e ao controle de temperatura de ≤3ºC em até três dias de armazenamento, são fatores essenciais para garantir a qualidade do sangue como ingrediente alimentar seguro.[6]

No estudo conduzido por Boxman et al. (2017), foi avaliado se o uso de produtos derivados do sangue suíno em alimentos poderia representar um risco de infecção pelo

vírus da hepatite E (VHE), tomando nota de que o VHE gt3 é comumente presente em suínos domésticos, tendo um potencial de contaminação zoonótica. O RNA do VHE foi detectado em 33/36 lotes de produtos sanguíneos líquidos (não aquecidos) e em 7/24 produtos sanguíneos em pó secos por atomização, que poderiam ser aplicados como ingrediente em alimentos.

Os níveis de contaminação variaram entre os produtos, porém foram mais elevados no sangue total líquido, plasma e fibrinogênio, utilizado em produtos como patês, salsichas de fígado de porco, bacon e presunto cru defumado. Principalmente, devido os produtos líquidos não terem sido submetidos a nenhuma forma de tratamento térmico. Estes resultados podem ser explicados pela ausência rotineira de testagem para o VHE.

O tratamento acima de 80°C por períodos acima de 20 minutos foi um processo descrito como necessário para a inativação completa do VHE, e a ausência de tal prática promove uma grande probabilidade de infecção. Produtos derivados de sangue suíno como ingrediente de produtos cárneos processados, se não aquecidos o suficiente antes do consumo, podem, portanto, ser considerados um veículo de transmissão do VHE.

Já Yang et al. (2024) buscou investigar a capacidade de sobrevivência e o risco de 17 cepas isoladas de *Salmonella* de alimentos tradicionais à base de sangue na China. Em comparação com a cepa laboratorial *S. Typhimurium* ATCC 14028, essas cepas cresceram mais rapidamente e formaram menos biofilme, mas apresentaram variações na resistência a estresses térmicos típicos do processamento de alimentos.

Assim como Boxman et al. (2017), Yang et al. (2024) traz também que o tratamento térmico na produção de alimentos à base de sangue, especificamente o aquecimento-coagulação, pode reduzir a carga bacteriana. Embora o aquecimento seja realizado acima de 80°C, para manter a textura lisa, o aquecimento é mantido intencionalmente por um período muito curto, o que pode resultar em esterilização incompleta. Além disso, as cepas isoladas foram testadas quanto à capacidade de sobrevivência ao frio por um período de 14 dias, e mostraram-se resistentes à temperaturas de refrigeração (4°C), com uma taxa de sobrevivência de 52,9%.

A análise genômica sugeriu possível contaminação cruzada durante o preparo dos alimentos, destacando a possibilidade de ocorrer durante o abate ou transporte e armazenamento. Foram identificados 21 genes de resistência a antibióticos, com destaque para mutações nos genes *gyrA* (D87G e S83F) *blaTEM* e *aadA1*. Testes confirmaram resistência a múltiplos medicamentos em 41,18% das amostras, inclusive a ceftiofur, canamicina e ácido nalidíxico, mesmo sem a presença de genes conhecidos para essas resistências. O estudo reforça preocupações sobre a segurança de alimentos tradicionais e a necessidade de melhores práticas de higiene para evitar a disseminação de cepas resistentes de *Salmonella.*

Ambos os trabalhos reforçam que o sangue animal, embora nutritivo e usado amplamente na indústria alimentícia, é um meio altamente suscetível à contaminação microbiana e que os métodos convencionais de processamento (aquecimento curto, *spray-drying,* coagulação) podem ser insuficientes para garantir segurança alimentar.

Os dois artigos se complementam mostrando que o risco microbiológico em alimentos sanguíneos é multifacetado — bacteriano (com resistência antimicrobiana) e viral (com potencial zoonótico), e que a detecção precisa depende do uso de métodos

moleculares sensíveis (PCR, RT-qPCR, comum a ambos os estudos) aliados a boas práticas de processamento e controle higiênico-sanitário. [12,26]

CONCLUSÕES

A utilização do sangue animal e de hemocomponentes como ingrediente alimentar representa uma estratégia sustentável de aproveitamento e uma oportunidade promissora de inovação tecnológica para a indústria de alimentos. Suas propriedades nutricionais e tecnológicas sugerem aplicação em diferentes matrizes alimentares, contribuindo para o desenvolvimento de produtos mais funcionais e sustentáveis. Contudo, é importante atentar-se aos possíveis meios de contaminação e uma implementação de métodos de manipulação padronizados, com pontos críticos de controle bem estabelecidos, a fim de garantir a eficácia dos tratamentos térmicos e a segurança do sangue e seus hemocomponentes a serem utilizados.

Sugere-se a criação de legislações e regulamentações específicas para coleta, tratamento e transporte do sangue, assim como para os produtos alimentícios à base de sangue animal, com cláusulas definidas para os casos de utilização do sangue como ingrediente e para os casos à qual se utilize exclusivamente de hemocomponentes. Tanto no que se refere à quantidade máxima permitida por 100 g de produto, como do ponto de vista dos padrões microbiológicos. Isso passa credibilidade ao consumidor e desmistifica as aversões construídas ao longo dos anos, além de estimular o desenvolvimento de novas pesquisas que abordam esta temática.

REFERÊNCIAS

1. Lynch, S. A.; Mullen, A. M.; O'neill, E. E.; García, C. A. Harnessing the Potential of Blood Proteins as Functional Ingredients: A Review of the State of the Art in Blood Processing. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 16, n. 2, p. 330-344, 2017.

2. Toldrá, F; Reig, M; Mora, L. Management of meat by- and co-products for an improved meat processing sustainability. **Meat Sciense***,* v.181, p. 108608, 2021.

3. Fontes, P. R.; Gomide, L.A.M.; Costa, N. M. B.; Peternelli, L. A.; Fontes, E. A. F.; Ramos, E. M. Chemical composition and protein quality of mortadella formulated with carbon monoxide-treated porcine blood. **LWT - Food Science and Technology**, v. 64, p. 926-931, 2015.

4. Dantas, MI (2004). O chouriço no Seridó: transformação do sangue em doce. Holos, 20, 4-17.

5. Verma, A. K., Chatli, M. K., Mehta, N.; Kumar, P. Assessment of physico-chemical, antioxidant and antimicrobial activity of porcine blood protein hydrolysate in pork emulsion stored under aerobic packaging condition at 4 ± 1 °C. **LWT - Food Science and Technology**, v. 88, p. 71-79, 2018.

6. Nowak, B.; Mueffling, T. Porcine Blood Cell Concentrates for Food Products: Hygiene, Composition, and Preservation. **Journal of Food Protection**, v. 69, n. 9, p. 2183-2192, 2006.

7. Ofori, J. A.; Hsieh, Y. H. P. Blood-derived products for human consumption. **Revelation and Science**, v. 01, n. 1, p. 14-21, 2011.

8. Parés, D.; Toldrà, M.; Saguer, E.; Carretero, C. Scale-up of the process to obtain functional ingredients based in plasma protein concentrates from porcine blood. **Meat Science**, v. 96, p. 304-310, 2014.

9. Ofori, J. A.; Hsieh, Y. H. P. Monoclonal antibodies as probes for the detection of porcine blood-derived food ingredients. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 64, n. 18, p. 3705-3711, 2016.

10. Nowak, B, V.M., T. Microbiological and sensory suitability of a novel raw material from porcine blood and collagenous rind protein as an ingredient in a fermented raw salami-type sausage. **Journal of Food Protection**, v. 72, n. 4, p. 826-836, 2009.

11. Grundy, H. H.; Read, W. A.; Macarthur, R.; Dickinson, M.; Charlton, A. J.; Dušek, M.; Breidbach, A.; Scholl, P. F.; Newsome, G. A.; Bell, D.; Alewijn, M. Selected reaction monitoring method to determine the species origin of blood-based binding agents in meats: a collaborative study. **Food Chemistry**, v. 141, p. 3531-3536, 2013.

12. BOXMAN, I. L. A. et al. Porcine blood used as ingredient in meat productions may serve as a vehicle for hepatitis E virus transmission. **International Journal of Food Microbiology**, v. 257, p. 225–231, 2017.

13. JIRA, W.; S., F. A sensitive HPLC-MS/MS method for the simultaneous detection of microbial transglutaminase, and bovine and porcine fibrinogen/thrombin in restructured meat. **Food Chemistry**, v. 237, p. 841–848, 2017.

14. OFORI, J. A.; H., Y. H. P. Immunodetection of Porcine Red Blood Cell Containing Food Ingredients Using a Porcine-Hemoglobin-Specific Monoclonal Antibody. **Foods**, v. 6, n. 11, p. 101, 2017.

15. JIANG, X.; F., D.; HSIEH, Y. P.; R., Q. Monoclonal antibody-based ELISA for the quantification of porcine hemoglobin in meat products. **Food Chemistry**, v. 250, p. 170–179, 2018.

16. IZGARISHEV, A. V.; IZGARISHEVA, N. V.; O., L. A. Development and study of food product with anti-anemic agent based on farm animal blood. **Foods and Raw Materials**, v. 6, n. 1, p. 56–62, jun. 2018.

17. JIANG, Xingyi et al. Monoclonal antibody-based sandwich enzyme-linked immunosorbent assay for porcine hemoglobin quantification. **Food Chemistry**, (S. l.), v. 324, 126880, 2020.

18. FERNÁNDEZ, Carina L. et al. Pat substitutes based on bovine blood plasma and flaxseed oil as functional ingredients. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, (S. l.), v. 25, 100365, 2021.

19. Jennings, A.; Koch, M.; Bang, C.; Franke, A.; Lieb, W.; Cassidy, A. Microbial diversity and abundance of *Parabacteroides* mediate the associations between higher intake of flavonoid-rich foods and lower blood pressure. **Hypertension**, (s.l.), v. 78, n. 4, p. 1016–1026, 2021.

20. Cha, J. Y.; Lee, M. H.; Yong, H. I.; Kim, T.-K.; Choi, H.-J.; Kim, M.-R.; Choi, Y.-S. Effects of added cereal fibers on the quality characteristics of black pudding prepared with duck blood. **Poultry Science**, v. 101, p. 101694, 2022.

21. CSURKA, Tamas et al. Comparison of techno-functional and sensory properties of sponge cakes made with egg powder and different quality of powdered blood products for substituting egg allergen and developing functional food. **Frontiers in Nutrition**, (S. l.), v. 9, 979594, 2022.

22. Araújo-Rodrigues, H.; Coscueta, E. R.; Pereira, M. F.; Cunha, S. A.; Almeida, A.; Rosa, A.; Martins, R.; Pereira, C. D.; Pintado, M. E. Membrane fractionation of *Cynara cardunculus* swine blood hydrolysate: ingredients of high nutritional and nutraceutical value. **Food Research International**, (s.l.), v. 158, p. 111549, 2022.

23. Csurka, T.; Varga, Á.; Ladányi, M.; Friedrich, L. F.; Pásztor-Huszár, K. Membrane separation of porcine blood for food industrial use of permeate and retentate. **Journal of Food and Nutrition Research**, (s.l.), v. 61, n. 3, p. 218–229, 2022.

24. Han, F.; Aheto, J. H.; Rashed, M. M. A.; Zhang, X. Machine-learning assisted modelling of multiple elements for authenticating edible animal blood food. **Food Chemistry**. (s.l.), v. 14, p. 100280, 2022.

25. Gao, L.; Du, B.; Ma, Q.; Ma, Y.; Yu, W.; Li, T.; Liu, Y.; Yuan, G. Multiplex-PCR method application to identify duck blood and its adulterated varieties. **Food Chemistry**, (s.l.), v. 444, p. 138673, 2024.

26. Yang, T.; Wu-Chen, R. A.; Zhang, R.; Liao, X.; Lou, Y.; Gölz, G.; Ding, T.; Feng, J. Emergence of rapidly spreading antimicrobial-resistant *Salmonella* in traditional blood-based foods. Food Quality and Safety, (s.l.), v. 8, p. 1–11, 2024.

SISTEMA DE EMBALAGEM A VÁCUO E A QUALIDADE DA CARNE BOVINA *IN NATURA*: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA.

VACUUM PACKAGING SYSTEM AND THE QUALITY OF FRESH BEEF: A SYSTEMATIC REVIEW

DOI: 10.65747/conali2025v3c18

Larissa Mylena Mendes Dias [1] Raimundo Bernadino Filho[2]; Fabiana Maria da Silva[3]; Karina Barbosa dos Santos[1]; Romário Oliveira de Andrade[4] Artur Xavier Mesquita de Queiroga[5]

[1] Estudante do Curso de Engenharia de Alimentos – UFAPE; E-mail: larissa.mylena@ufape.edu.br

[2] Docente/pesquisador do Departamento de Engenharia de Alimentos – UFAPE

[3]Engenheira de Alimentos – UFAPE

[4]Docente na Universidade Estadual da Paraíba - UEPB

[5]Docente no Instituto Federal do Mato Grosso - IFMT

Resumo: A qualidade e segurança alimentar da carne bovina são fundamentais na indústria alimentícia. Neste estudo, foi realizada uma revisão sistemática para avaliar o impacto da técnica de embalagem a vácuo adicionada de alguma metodologia complementar de conservação da carne bovina em comparação ao método tradicional. A análise permitiu mapear o estado atual do tema, identificar lacunas no conhecimento e sugerir direções para pesquisas futuras. Utilizando uma metodologia robusta, que incluiu protocolo de pesquisa, análise crítica e avaliação de documentos, com o intuito de responder as questões norteadoras "quais as vantagens, desvantagens e limitações apresentadas pelo método de embalagem a vácuo em comparação com suas adaptações utilizados para o acondicionamento da carne bovina *in natura*?" e "Como o sistema de embalagem a vácuo afeta a qualidade nutricional e sensorial da carne bovina *in natura*?". Através das buscas, foram selecionados e analisados 80 estudos publicados entre 2017 e 2023 em bases como Web of Science, Science Direct e Scopus, resultando na escolha de 7 para análise final. A análise bibliométrica revelou um maior número de publicações no ano de 2017, com foco predominante na produção e preservação da carne bovina. Destacou-se a eficácia da embalagem a vácuo em diferentes metodologias de melhoria para a conservação da carne bovina *in natura*, ressaltando a importância de métodos complementares de conservação, como refrigeração e congelamento. Concluiu-se que a combinação da embalagem a vácuo com outras tecnologias oferece uma abordagem integrada para melhorar a conservação dos produtos cárneos, estendendo sua vida útil e mantendo suas características sensoriais. Este estudo contribui significativamente para o entendimento dos sistemas de embalagem na indústria de carne bovina, fornecendo insights valiosos para acadêmicos e profissionais do setor.

Palavras–chave: conservação; qualidade sensorial; preservação de alimentos; vida útil

Abstract: The quality and food safety of beef are fundamental in the food industry. In this study, a systematic review was carried out to assess the impact of the vacuum-packing technique added to some complementary beef preservation methodology compared to the traditional method. The analysis made it possible to map the current state of the subject, identify gaps in knowledge and suggest directions for future research. Using a robust methodology, which included a research

protocol, critical analysis and evaluation of documents, with the aim of answering the guiding questions "What are the advantages, disadvantages and limitations of the vacuum packaging method compared to its adaptations used for packaging fresh beef?" and "How does the vacuum packaging system affect the nutritional and sensory quality of fresh beef?". Through the searches, 80 studies published between 2017 and 2023 were selected and analyzed in databases such as Web of Science, Science Direct and Scopus, resulting in the choice of 7 for final analysis. The bibliometric analysis revealed a greater number of publications in 2017, with a predominant focus on beef production and preservation. The effectiveness of vacuum packaging in different methodologies to improve the preservation of fresh beef was highlighted, emphasizing the importance of complementary preservation methods such as refrigeration and freezing. It was concluded that combining vacuum packaging with other technologies offers an integrated approach to improving the preservation of meat products, extending their shelf life and maintaining their sensory characteristics. This study makes a significant contribution to the understanding of packaging systems in the beef industry, providing valuable insights for academics and professionals in the sector.

Keywords: beef; Preservation; vacuum packaging; systematic review

1. INTRODUÇÃO

O cenário de produção e exportação de carne bovina no Brasil passou por muitas transformações ao longo dos anos, investimentos tecnológicos, busca por melhorias nos processos de obtenção do produto, a preocupação com o bem estar animal, a rastreabilidade e outros fatores foram fundamentais para que se tornasse um dos maiores produtores e exportadores, e assim, desempenhasse um papel valioso na economia do país (1)(2)

A carne bovina é uma das principais fontes de proteína animal consumida no mundo, suas características nutricionais e sensoriais, fazem com que este alimento seja atrativo. Vários fatores podem contribuir para a deterioração da carne bovina até torná-la imprópria para o consumo, como, temperatura, condições sanitárias, a embalagem e o tempo de armazenamento. Dentre os diversos aspectos existentes na indústria de alimentos, a embalagem é um fator importante na preservação da qualidade da carne. O sistema adequado pode determinar a durabilidade, “shelf life” e a segurança, além de influenciar nas características sensoriais do produto (3)(4)(5).

A indústria está sempre atenta as inovações do mercado e em busca de produtos saborosos, nutritivos, seguros e que atenda as exigências do cliente para esse propósito, torna-se necessário que o produto seja acondicionado em um sistema de embalagem que preserve suas características físico-químicas e sensoriais, protegendo-o de condições adversas que poderiam vir a causar danos (6).

Atualmente, as embalagens mais utilizadas pela indústria processadora de carne, utilizam a tecnologia a vácuo e com atmosfera modificada, além delas, existem as que combinam as duas técnicas. A primeira, consiste em retirar todo o ar do pacote antes de selá-lo, criando um ambiente livre de oxigênio que impede o desenvolvimento de micro-organismos aeróbios e prolonga a vida útil. Já a segunda, consiste em alterar a composição do ar dentro da embalagem, substituindo o oxigênio por outros gases específicos, como dióxido de carbono 12 e nitrogênio, que ajudam a preservar a cor, textura e sabor da carne, além de inibir o crescimento de micro-organismos (7).

Ambas as técnicas têm suas vantagens e desvantagens. A embalagem a vácuo é eficaz na prevenção do crescimento de bactérias e na preservação da qualidade sensorial da carne, já, a atmosfera modificada é muito eficiente na redução da oxidação de lipídios e na preservação da cor. Como desvantagem, na embalagem a vácuo pode ocorrer a oxidação de lipídios e a perda de cor e na embalagem de atmosfera modificada pode ocorrer o crescimento de bactérias anaeróbicas (8) (9).

As embalagens a vácuo são amplamente preferidas nos frigoríficos brasileiros devido a custos mais baixos e à facilidade de implementação em comparação com a atmosfera modificada. Isso se deve à simplicidade de processo, exigindo menos etapas, o que aumenta a eficiência e reduz o tempo de produção (10).

Considerando os fatos mencionados, este trabalho se propõe a realizar uma revisão sistemática da literatura sobre o sistema de embalagem a vácuo para carne bovina *in natura* (refrigerada e/ou congelada) na indústria processadora de carnes. O objetivo é fornecer uma análise imparcial, examinando como essa tecnologia impacta na garantia da qualidade nutricional e sensorial do produto, além de identificar suas vantagens, desvantagens, limitações e inovações.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho seguiu várias etapas: inicialmente, foi desenvolvido um protocolo de pesquisa que incluiu a questão de pesquisa, a identificação das bases de dados, a definição dos critérios de inclusão e exclusão, além das estratégias de busca e análises preliminares e aprofundadas. Posteriormente, uma análise crítica e avaliação dos documentos obtidos foi conduzida, resultando na criação de um resumo crítico que sintetiza as informações dos documentos selecionados.

2.1 PROTOCOLO DE PESQUISA

Além de reduzir o risco de duplicação de pesquisas em um tema já abordado, a antecipada divulgação do protocolo de pesquisa científica também oferece insights sobre como o tema está sendo explorado no cenário acadêmico. Possibilitando analisar se o estudo está bem consolidado ou se há lacunas que poderiam influenciar descobertas prévias. Tais investigações desempenham um papel significativo na compreensão dos processos relacionados ao objeto de estudo (11).

Para elaborar o protocolo de pesquisa, utilizou-se uma abordagem metodológica baseada no modelo presente no International Prospective Register of Systematic Reviews (PROSPERO) com ajustes realizados devido aos elementos desse modelo estarem mais direcionados para questões clínicas na área da saúde. Como resultado, foram incorporados os seguintes elementos ao protocolo: pergunta de pesquisa, critérios para a seleção das fontes, estratégias de busca das fontes, palavras-chave, lista das bases de dados, tipos de documentos, idioma, critérios de inclusão e exclusão, critérios de qualidade dos estudos primários, procedimento de seleção dos estudos primários, abordagem para a extração de informações e análise dos resultados.

2.2 PERGUNTA CIENTÍFICA

Para a construção da questão norteadora da revisão sistemática, foi utilizado o anagrama PICOS (Quadro 1): P: população; I: intervenção/exposição; C: grupo de comparação; O: desfecho (do inglês outcome); e S: tipo de desenho do estudo, com modificações para se adequar ao estudo realizado, a carne bovina *in natura* contempla a especificação da população, ou do problema, ou da condição que será estudada. Nesse estudo haverá comparação entre intervenções, que são os sistemas de embalagens utilizados para acondicionar esse alimento. O desfecho que se pretende estudar são as vantagens, desvantagens e limitações de cada sistema utilizado e como eles influenciam no aspecto físico-químico e sensorial do produto.

Quadro 20 – Componentes para formulação de pergunta de pesquisa.

Descrição	Componentes da pergunta
População	Carne bovina *in natura*
Intervenção	Sistema de embalagem a vácuo
Comparação	Inovações
Desfechos	Vantagens, desvantagens e limitações; influência no aspecto físico-químico e sensorial do alimento

Fonte: Autores, 2023

Ao preencher o quadro de forma objetiva, foi possível formular duas perguntas norteadoras “quais as vantagens, desvantagens e limitações apresentadas pelo método de embalagem a vácuo em comparação com suas adaptações utilizados para o acondicionamento da carne bovina *in natura*?” e “Como o sistema de embalagem a vácuo afeta a qualidade nutricional e sensorial da carne bovina *in natura*?”.

2.3 CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DE FONTES

Para selecionar as bases de dados utilizadas nesse estudo, foi realizado previamente uma pesquisa da forma tradicional em busca de documentos científicos do formato de revisão sistemática, para verificar quais as bases de dados mais utilizadas para esse segmento. Nesse contexto, dentre os documentos analisados, as bases de dados que apresentaram mais destaque para esse tipo de pesquisa, utilizam as bases: SciELO, SCOPUS, Web of Science, PubMed, Medline Ovid, Embase, Google Scholar, entre outras fontes (12).

Para essa pesquisa, as bases utilizadas fazem parte do Portal de Periódicos da CAPES (SCOPUS, Web of Science e Science Direct), de modo que os documentos obtidos podem ser facilmente acessados através de uma conta única, em que o usuário pode acessar de onde estiver, utilizando os serviços ofertados pela instituição de ensino, que necessita estar integrada na Comunidade Acadêmica Federada (CAFe).

2.4 ESTRATÉGIA DE BUSCA

Para cada base de dados, foi utilizado um método de busca que consistia em obter documentos que contivessem as palavras-chave no título, resumo ou palavras-chave. As palavras-chaves definidas foram: ‘fresh beef’, ‘vaccum pack*’, ‘quality’, definidas também através de uma pesquisa inicial buscando reconhecer as palavras chaves com o objetivo de incluir o máximo de documentos relacionados ao segmento em estudo. O idioma padrão foi o inglês, uma vez que as bases de dados escolhidas recebem artigos internacionais. Além disso, foram utilizados os operadores boleanos ‘AND’ e ‘OR’ de acordo com cada mecanismo de busca descrito no Quadro 2.

Quadro 2 - Mecanismo de busca utilizado para as bases de dados.

Bases de Dados	Mecanismo de busca
SCOPUS	(“fresh beef" AND " vacuum pack*" AND "quality”)
Web of Science	(quality AND Vacuum pack* AND "fresh beef")
Science Direct	("fresh beef" AND "Vacuum pack" AND "quality”)

Fonte: Autores, 2023

2.5 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

Foram definidos critérios específicos para direcionar esta revisão sistemática, com o objetivo de incluir:

I. Documentos como artigos científicos publicados em revistas, capítulos de livros e trabalhos apresentados em eventos;
II. Publicações no período entre 2017 e 2023;
III. Documentos disponíveis em acesso livre ou acessíveis por meio da Comunidade Acadêmica Federada (CAFe);
IV. Documentos redigidos em inglês ou português.

Critérios de exclusão englobam:

I. Trabalhos cujo foco principal sejam outro sistema de embalagem;
II. Trabalhos que não explorem o impacto do sistema de embalagem a vacuo nas propriedades físico-químicas e/ou sensoriais do produto;
III. Estudos que abordem embalagens a vácuo sob diferentes perspectivas, como sustentabilidade.
IV. Pesquisas que se concentrem em produtos cárneos distintos como objeto de estudo.

2.6 ANÁLISES INICIAIS E AVANÇADAS

Para a seleção inicial dos artigos obtidos pelas bases de dados foi realizada uma leitura dos títulos e posteriormente dos resumos. Em seguida, foi utilizado o Rayyan, uma ferramenta que ajuda a simplificar a triagem inicial de 23 resumos e títulos usando um processo semi-automatizado, podendo ser acessado através do endereço http://rayyan.qcri.org.

Os artigos resultantes dessa análise inicial foram submetidos ao software State of the Art through Systematic Review (StArt), disponível em http://lapes.dc.ufscar.br/tools/starttool , posteriormente os dados foram organizados em uma planilha do Excel Contendo os campos: autor, ano de publicação, origem, título, objetivo geral do estudo e conclusão.

2.7 ANÁLISE CRÍTICA E AVALIAÇÃO DOS DOCUMENTOS OBTIDOS

Para avaliar a confiabilidade e pertinência dos artigos escolhidos e seus achados, os critérios de qualidade metodológica seguiram a ferramenta de avaliação chave desenvolvida pelo Joanna Briggs Institute (JBI) (13). Os tópicos utilizados foram modificados para se alinhar com os estudos aplicáveis, abordando as questões descritas na Figura 01 (14).

1. A questão da revisão está clara e explicitamente declarada?
2. Os critérios de inclusão foram apropriados para a questão da revisão?
3. A estratégia de busca foi apropriada?
4. As fontes e recursos utilizados para buscar estudos foram adequados?
5. Os critérios para avaliar os estudos foram apropriados?
6. A avaliação crítica foi realizada por dois ou mais revisores de forma independente?
7. Houve métodos para minimizar erros na extração de dados?
8. Os métodos utilizados para combinar os estudos foram apropriados?
9. As recomendações para políticas e/ou práticas foram apoiadas pelos dados relatados?
10. As diretrizes específicas para novas pesquisas foram apropriadas?

Figura 26 – Questões do Checklist Joanna Briggs Institute (JBI) com adaptações.
Fonte: Autores, 2025

Por fim, foi realizada uma análise bibliométrica com os documentos obtidos através das etapas anteriores, e analisados acerca do tema, para identificar o estado em que esse assunto se encontra, quais as tendencias e citações. Possibilitando identificar os autores, países, periódicos e organizações que estão interessadas nesse estudo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a busca nas principais bases de dados, conforme detalhado na metodologia, resultou em 80 documentos. A quantidade de artigos identificados e como os registros foram exportados está descrito no quadro 3. Ainda foi possível observar que a base de dados que prevaleceu na amostra foi a Web of Science representando um percentual de 50% dentre o total de artigos identificados, seguido pela Science Direct com 27,5% e a Scopus com 22,5%.

Quadro 3 – Método de exportação por base de dados

Base de Dados	Método de exportação	Quantidade de documentos	Percentual (%)
Web of Science	Bibtext	40	50
Scopus	RIS	18	27,5
Science Direct	RIS	22	22,5
Total de Documentos		80	100

Fonte: Autores, 2023

Conforme apresentado na Figura 02, durante a fase de busca e identificação de artigos, foram inicialmente identificados 40 artigos na Web of Science, 18 na Scopus e 22 na Science Direct, totalizando 80 artigos. Destes, 15 foram identificados como duplicatas. Dos 65 artigos restantes submetidos à triagem (39 da Web of Science, 6 da Scopus e 20 da Science Direct), 37 foram excluídos. Destes, 30 foram excluídos devido à publicação fora do período especificado na metodologia (2017 a 2023) e 07 por não serem considerados artigos no sentido estrito.

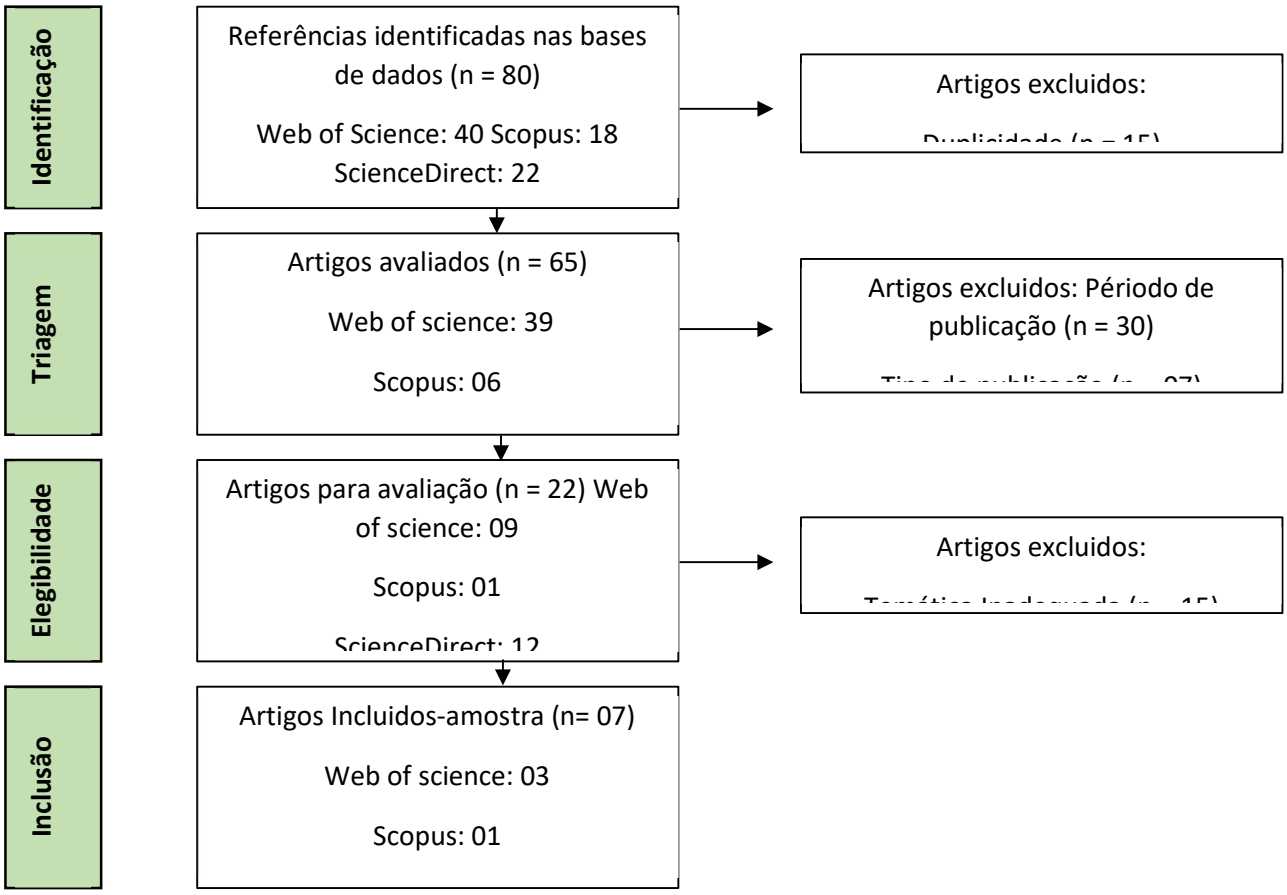


Figura 2 – Fluxograma das etapas de seleção dos estudos adaptado do PRISMA.
Fonte: Autores, 2024

A etapa de análise de elegibilidade, foi dividida em dois momentos: no primeiro, os trabalhos foram avaliados por meio do título e resumo, com o objetivo de aprofundar a leitura e compreender a proposta do artigo analisado. De 22 artigos, 13 foram excluídos por temática inadequada. Os artigos restantes foram lidos na íntegra, e foi identificado que 07 artigos se apresentavam elegíveis quanto à adequação da temática em estudo com a tecnologia a vácuo. O resultado das análises realizadas nesse estudo divide-se em duas etapas: a análise bibliométrica e a análise do conteúdo dos artigos, em que consideramos os 07 artigos obtidos. Estes trabalhos que trazem uma abordagem de inovação ou implementação de técnica em conjunto a embalagem a vácuo.

3.1 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

O quadro apresenta a distribuição dos artigos encontrados em diferentes periódicos relacionados ao tema de embalagem e conservação de carne bovina. Dos sete periódicos analisados, três artigos foram encontrados em Meat Science, seguido por um artigo em Food Packaging and Shelf Life, Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, Journal of Food Quality e Foods, respectivamente. Esses periódicos representam fontes importantes de pesquisa e informações sobre o tema, indicando a relevância e interesse acadêmico nessa área específica, conforme apresentado na Figura 3.

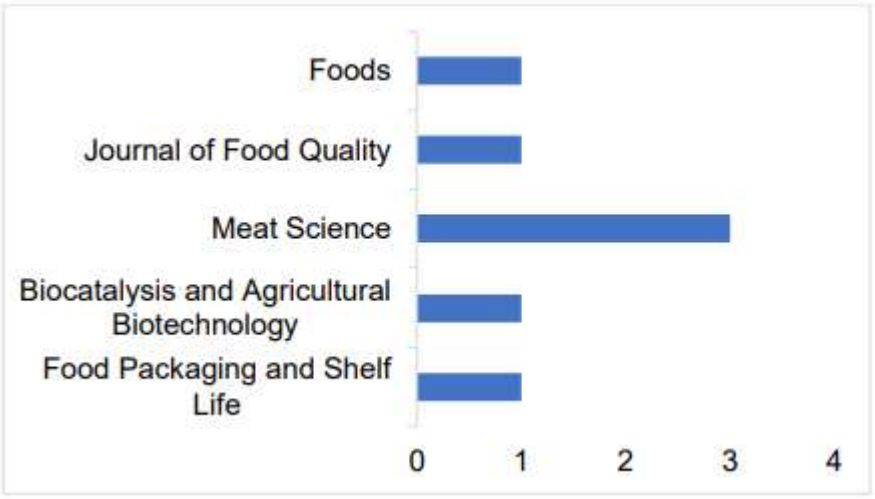


Figura 3 – Relação de periódicos e documentos publicados.
Fonte: Autores, 2024

O levantamento bibliográfico resultou na identificação de sete artigos relacionados ao tema em questão, publicados em diferentes periódicos. A distribuição dos artigos por ano de publicação mostra que a maioria dos estudos foi realizada em 2017, com três artigos. Os anos de 2018, 2020, 2021 e 2023 tiveram apenas um artigo cada (figura 4). Esses resultados indicam uma distribuição variada ao longo dos anos, com um pico de interesse em 2017, seguido por uma menor produção nos anos subsequentes. Essa constatação reforça a relevância da pesquisa e a necessidade de continuar investigando e desenvolvendo melhorias para o sistema em questão.

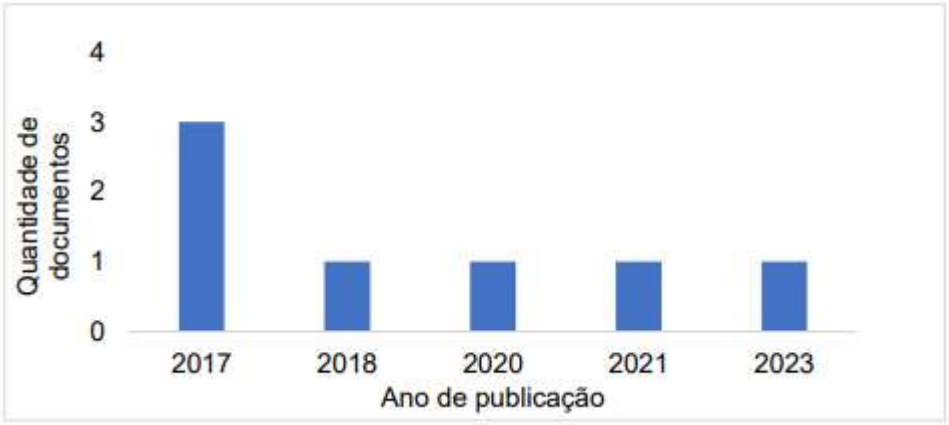


Figura 4 – Relação de documentos entre os anos de 2017 e 2023
Fonte: Autores, 2024

As palavras-chave revelam uma variedade de temas e tendências na pesquisa que estão diretamente ou indiretamente relacionadas ao tema em estudo. Ao analisar as palavras-chave dos artigos obtidos (Figura 5), foi possível identificar três pontos principais. A palavra-chave "carne bovina" emerge como um foco central, indicando um interesse contínuo na produção e preservação. A ela podemos relacionar o termo "armazenamento"

que surge em conjunto com outras palavras-chave, como "temperatura", "embalagem", "shelf life" (vida útil) “embalagem a vacuo” e "atmosfera modificada", sugerindo uma preocupação com a preservação da carne bovina e a extensão de sua vida útil por meio de técnicas de armazenamento adequadas. Ainda abrange “cor” e “temperatura” sugerindo parâmetros de controle da qualidade do produto.

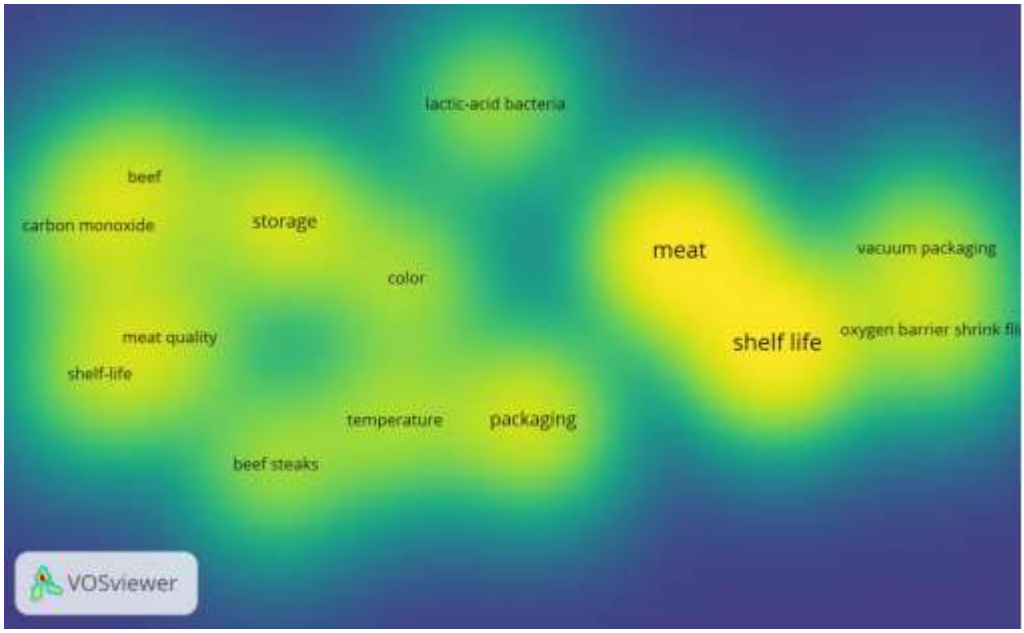


Figura 5 – Principais palavras-chaves relacionadas ao tema em estudo

3.2 SÍNTESE E ANÁLISE DOS ESTUDOS DA PESQUISA SISTEMÁTICA

O quadro 04, apresenta as informações básicas extraídas desses documentos. Para responder à questão norteadora desta revisão sistematica de forma precisa e consistente. Inicialmente os artigos foram organizados por o nome dos autores e data de publicação, o título, objetivo e conclusão.

Tabela 1 – Síntese dos estudos elegíveis para a pesquisa

Ordem	Autores	Título	Objetivo	Conclusão
Artigo 01	MCSHARRY, Siobhán; KOOLMAN, Leonard; WHYTE, Paul; BOLTON, Declan (2020)	A microbiologia de bifes de carne armazenados de forma aeróbica ou anaeróbica em filmes de embalagem a vácuo com diferentes propriedades de barreira ao oxigênio.	O estudo busca solucionar o problema da proliferação de bactérias que causam a deterioração (spoilage) da carne bovina quando armazenada em diferentes condições atmosféricas, como embalagens a vácuo ou com atmosfera modificada.	O estudo destaca a importância da escolha adequada de filmes de embalagem com diferentes propriedades de barreira de oxigênio para a preservação da carne bovina. Embalagens de alta barreira e armazenamento anaeróbico mostraramse mais eficazes em manter a cor vermelha e evitar a descoloração, em comparação com embalagens de menor barreira ou armazenamento aeróbico. Esses resultados ressaltam a importância da embalagem na preservação da qualidade visual e sensorial da carne
Artigo 02	Kirtonia, K.; Salauddin, M.; Bharadwaj, K. K.; Pati, S.; Dey, A.; Shariati, M. A.; Tilak, V. K.; Kuznetsova, E.; Sarkar, T. (2021)	Bacteriocina: Um novo agente antibiofilme estratégico nas indústrias alimentícias	O objetivo deste trabalho é minimizar a contaminação de produtos alimentícios e aumentar a segurança alimentar, por meio do desenvolvimento e uso de produtos não químicos que, ao serem adicionados aos alimentos, reduzam as chances de contaminação.	A vantagem dos filmes contendo enzimas, bacteriocinas e botânicos em produtos cárneos, em comparação com as metodologias padrão de preservação de alimentos, está principalmente na capacidade desses filmes de oferecer uma barreira antimicrobiana ativa e direta contra patógenos e microrganismos deteriorantes. A redução da população de organismos que causam a deterioração dos alimentos é eficaz, e o processo inclui o cozimento de produtos cárneos em embalagens.
Artigo 03	BAUER, A.; NI, Y.; BAUER, S.; PAULSEN, P.; MODIC, M.; WALSH, J. L.;	Os efeitos do tratamento com plasma frio de pressão atmosférica nas características	o objetivo deste estudo é analisar os efeitos do tratamento com plasma direto em amostras de carne antes da embalagem, comparando-as com dois grupos	O estudo comparou o tratamento com plasma direto ao método padrão e descobriu que a exposição direta ao plasma resulta em reduções significativas de bactérias em filmes de embalagem de alimentos. O plasma de baixa

	SMULDERS, F. J. M (2017)	microbiológicas, físico-químicas sensoriais contrafilé bovino embalado a vácuo.	de controle: um 'controle não etratado', que reflete as práticas decomerciais atuais, e um 'controle tratado', que foi submetido ao tratamento com plasma direto. O estudo busca estabelecer referências para possíveis mudanças físico-químicas ou sensoriais decorrentes do tratamento com plasma	potência foi mais eficaz que o de alta potência devido à presença de espécies reativas de oxigênio, como o ozônio. O ozônio destrói as membranas celulares bacterianas, tornando-o eficaz contra bactérias.
Artigo 04	LYU, F.; ZHAO, Y.; SHEN, K.; ZHOU, X.; ZHANG, J.; DING, Y (2018)	Utilizando o PréTratamento de Monóxido de Carbono Combinado com Dióxido de Cloro e Ácido Láctico para Manter a Qualidade da Carne Bovina Fresca Embalada a Vácuo	O estudo teve como propósito examinar a eficácia do prétratamento com monóxido de carbono em combinação com dióxido de cloro e ácido láctico para preservar a qualidade da carne bovina embalada a vácuo. A pesquisa investigou como esses tratamentos poderiam contribuir para a descontaminação da carne e melhorar sua qualidade, abordando aspectos como cor, atividade antimicrobiana e preservação dos ácidos graxos insaturados	O estudo concluiu que o pré-tratamento combinado de monóxido de carbono, dióxido de cloro e ácido láctico foi eficaz na atividade antimicrobiana e estabilidade da cor da carne bovina embalada a vácuo. Essa combinação resultou na mais forte atividade antimicrobiana, menor contagem de microrganismos, menor teor de nitrogênio básico volátil, pH mais baixo, menor substância reativa ao ácido tiobarbitúrico e menor metamioglobina durante o armazenamento, além de manter maior teor de ácidos graxos insaturados. Portanto, essa abordagem mostra potencial para manter a qualidade da carne bovina embalada a vácuo
Artigo 05	RODRIGUES Jose B. M.; SARANTOP	,Avaliação eficácia embalagens	da de não	O estudo teve como objetivo avaliar o potencial de filmes de barreira termo-encolhíveis, não	A conclusão do estudo aponta que o filme de EVOH com 32% de mol, não irradiado e livre de cloro, é tão eficaz na preservação da carne

	OULOS, Claire I. G. L.; BROMBERG, Renata; ANDRADE, Juliana C.; BRUNELLI, Kleber; MIYAGUSKU , Luciana; MARQUEZIN I, Miriam G.; YAMADA, Eunice A. (2017)	irradiadas e livres de cloro para preservação de carne bovina fresca	irradiados e livres de cloro, acontendo copolímero de álcool de vinila de etileno (EVOH), poliamida (PA) e ionômero de etileno em suas estruturas para preservar carne bovina fresca embalada a vácuo, como uma alternativa às tradicionais sacolas de polivinilideno cloreto (PVDC) irradiadas por raios gama. A pesquisa buscou comparar o desempenho dos filmes de EVOH com as sacolas de PVDC em relação ao crescimento bacteriano, perda por exsudação e atributos sensoriais da carne durante o armazenamento a 0,5°C
Artigo 06	MENDES, Cintia G.; MARTINS, Joana T.; LUDTKE, Fernanda L.; GERALDO, Ana; PEREIRA, Alfredo; VICENTE, Antonio A.;	Revestimento de quitosana funcionalizado com óleo de linhaça e extrato de chá verde como uma solução à base de biocombustíveis para a preservação de carne bovina.	O objetivo do estudo foi desenvolver um revestimento utilizando quitosana, extrato de chá verde e óleos essenciais com o propósito de preservar a qualidade da carne bovina com o intuito de atrasar a oxidação lipídica, reduzir o crescimento microbiano e manter a cor e a textura de cortes de carne bovina embalados a vácuo durante o tempo de armazenamento.

A conclusão do estudo ressalta a eficácia da formulação de revestimento à base de quitosana na preservação da qualidade da carne bovina, inibindo o crescimento microbiano e a oxidação lipídica. O estudo evidenciou que o tratamento de revestimento teve um impacto positivo na manutenção da qualidade dos cortes de carne durante o armazenamento refrigerado.

12

	VIEIRA, Jorge M. (2023)			
Artigo 07	VAN ROOYEN, Lauren Anne; ALLEN, Paul; CRAWLEY, Sarah M.; O'CONNOR, David I. (2017)	O efeito do tempo de exposição ao pré-tratamento com monóxido de carbono na estabilidade da cor e nos atributos de qualidade de bifes de contrafilé embalados a vácuo.	O objetivo do estudo foi investigar o efeito do tempo de exposição ao pré-tratamento com monóxido de carbono na estabilidade da cor e nos atributos de qualidade de bifes de carne embalados a vácuo. O estudo buscou determinar o tempo ideal de exposição ao monóxido de carbono para alcançar vermelha desejada.	o pré-tratamento com 5% de monóxido de carbono não teve efeitos negativos na segurança microbiológica, na oxidação lipídica, na perda por cocção e nas medições de força de cisalhamento no final do armazenamento. Este estudo demonstrou que um tempo de exposição de apenas 5 horas foi suficiente para alcançar os objetivos desejados.

Fonte: Autores, 2024

Os estudos analisados, descritos na Tabela 01 destacam a ampla aplicação da embalagem a vácuo em produtos cárneos frescos, um método tradicionalmente adotado na indústria frigorífica para conservação. Essa técnica remove o oxigênio, prolongando a vida útil e inibindo o crescimento de micro-organismos aeróbios deteriorantes, como *Pseudomonas* spp. Contudo, microrganismos anaeróbios facultativos (por exemplo, bactérias ácido-láticas e leveduras) e estritamente anaeróbios (como *Clostridium* spp. tolerantes ao frio) podem continuar a se desenvolver, causando deterioração da carne. Ainda é importante ressaltar a necessidade de métodos complementares de conservação, como refrigeração e congelamento (15) (16).

Os trabalhos selecionados indicaram que a adição de uma etapa de prétratamento ou um tratamento combinado pode resultar em melhorias significativas na conservação do produto, incluindo a redução da carga microbiana, aprimoramento das características sensoriais e extensão da vida útil.

O artigo 01, intitulado “A microbiologia de bifes de carne armazenados de forma aeróbica ou anaeróbica em filmes de embalagem a vácuo com diferentes propriedades de barreira ao oxigênio”, analisou os efeitos de diferentes condições de armazenamento e embalagens na microbiologia de bifes de carne bovina., as embalagens de alta barreira e armazenamento anaeróbico foram mais eficazes na redução do crescimento de algumas bactérias sob refrigeração, enquanto embalagens de média e alta barreira foram mais eficazes em condições de temperatura abusiva. (17).

O artigo 02, trata a incorporação de bacteriocinas, proteínas antimicrobianas em filmes de embalagem, que auxilia na eliminação da carga microbiana, podendo ser aplicada diretamente nos polímeros ou pelo revestimento ou absorção da bacteriocina na superfície do polímero. Essa tecnologia, garante a extensão da vida útil do produto e elimina alguns micro-organismos, contudo apresenta limitações na ação contra bactérias gramnegativas. Esses filmes permitem uma penetração lenta e controlada das bacteriocinas na superfície do alimento, o que é mais vantajoso do que métodos como imersão ou pulverização, onde a atividade anti-microbiana pode ser reduzida mais rapidamente. (18).

O artigo 03, aborda o tratamento direto com plasma que se mostrou uma alternativa promissora ao método padrão, oferecendo uma redução significativa na contaminação bacteriana sem a necessidade de produtos químicos adicionais ou processos térmicos. Essa tecnologia pode melhorar a segurança e a qualidade dos alimentos, além de estender a vida útil dos produtos, representando uma alternativa aos métodos convencionais de tratamento térmico e químico (19).

O Pré-tratamento com monóxido de carbono combinado com dióxido de cloro e ácido láctico, artigo 04, compara essa metodologia com o método padrão e revela que esse tratamento é mais eficaz na inibição do crescimento microbiano, na redução da deterioração química, na preservação dos ácidos graxos insaturados e na manutenção da cor da carne bovina embalada a vácuo. O dióxido de cloro (ClO_2) é um antimicrobiano eficaz usado para reduzir micro-organismos, enquanto o ácido lático é um agente descontaminante comummente empregado para reduzir ou eliminar microrganismos deteriorantes

e patogênicos da carne bovina. Essa tecnologia também ajuda a manter a coloração vermelha característica da carne sem interferir nas demais características sensoriais (20).

O artigo 05 aborda as embalagens com barreira-shrink que contêm copolímero de etileno-álcool vinílico (EVOH), poliamida (PA) e ionômero de etileno oferecem uma vantagem significativa na preservação da qualidade da carne, proporcionando uma proteção eficaz comparável às embalagens tradicionais. Além disso, apresentam benefícios adicionais, como melhorias nos atributos sensoriais, incluindo menos bolhas e maior aderência. Essas embalagens são também mais amigáveis ao meio ambiente, uma vez que não contêm cloro e não são irradiadas, facilitando a reciclagem e reduzindo o impacto ambiental associado à disposição e tratamento de compostos nocivos, contudo, as taxas de permeabilidade ao oxigênio e transmissão de vapor de água das embalagens EVOH foram comparáveis ou ligeiramente piores do que as da embalagem de controle com PVDC. Isso pode afetar a capacidade de manter a qualidade da carne ao longo do tempo, embora o estudo tenha encontrado um desempenho similar em relação ao crescimento bacteriano e perda de líquido (21)

O revestimento de quitosana funcionalizado com óleo de linhaça e extrato de chá verde (artigo 06) é uma solução promissora para preservar a qualidade da carne bovina fresca durante o armazenamento refrigerado, especialmente quando combinado com embalagem a vácuo. Essa combinação pode aumentar significativamente o tempo de vida útil do produto. A quitosana é um biopolímero funcional que inibe o crescimento bacteriano, leveduras e fungos. O chá verde, rico em compostos fenólicos, atua como sequestrador de radicais livres, retardando a oxidação lipídica em alimentos e exibindo efeitos inibitórios contra deterioração de alimentos e microrganismos patogênicos. O óleo de linhaça, por sua vez, possui propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e anticancerígenas, além de não apresentar odor intenso. (22).

No artigo 07, o autor investigou o impacto do tempo de exposição ao pré-tratamento com monóxido de carbono (CO) na estabilidade da cor e nos atributos de qualidade de bifes de carne bovina embalados a vácuo. O estudo concluiu que o pré-tratamento com CO poderia fornecer uma indicação visual confiável de frescor sem comprometer a segurança ou os atributos de qualidade (23)

4 CONCLUSÕES

O estudo alcançou seus objetivos ao mapear o estado atual do tema investigado, identificar lacunas no conhecimento e sugerir direções para pesquisas futuras. As descobertas deste trabalho oferecem uma base sólida para a compreensão dos sistemas de embalagem e suas implicações, servindo como referência para acadêmicos e profissionais da área.

As embalagens a vácuo, quando combinadas com outras tecnologias, torna-se mais eficaz na extensão da vida útil, na conservação da cor e no controle microbiano da carne bovina fresca devido à sinergia entre os diferentes métodos de conservação. A remoção do oxigênio pela embalagem a vácuo inibe o crescimento de microrganismos aeróbios, como *Pseudomonas* spp., que são responsáveis pela deterioração rápida da

carne. No entanto, microrganismos anaeróbios facultativos e estritamente anaeróbios podem continuar a se desenvolver.

A adição de uma etapa de pré-tratamento ou um tratamento combinado, pode resultar em melhorias significativas na conservação do produto. Além disso, a utilização de embalagens com atmosfera modificada, pode ajudar a preservar a cor, textura e sabor da carne, além de inibir o crescimento de microrganismos.

Portanto, a combinação da embalagem a vácuo com outras tecnologias, como a aplicação de bacteriocinas e a atmosfera modificada, proporciona uma abordagem integrada que melhora a conservação dos produtos cárneos, estendendo sua vida útil, mantendo suas características sensoriais e controlando eficazmente o crescimento microbiano.

REFERÊNCIAS

(1) COSTA, T. A. S.; BRITO, T. C. S.; AZEVEDO, L. A.; TEIXEIRA, E. M. B. Implantação de sistemas de gestão da qualidade dos alimentos: revisão e análise empírica. *Revista Simbio-Logias*, v. 11, n. 15, p. 96–108, 2019. Disponível em: https://www.ibb.unesp.br/Home/ensino/departamentos/educacao/implantacao_de_sistemas_de_gestao_da_qualidade.pdf. Acesso em: 9 ago. 2023.

(2) FELIPPE CURY MATHIAS, J. M. Modernização da bovinocultura de corte brasileira: evidências conjunturais 1. (S. l.: s. n.), 1997.

(3) ALEXANDRINO, S. L. S. A.; SANTOS, T. L. S.; MORAES, R. C.; GONÇALVES, L. F.; PAULA, L. C.; SILVA, G. S.; MINAFRA, C. S.; GOMIDE, A. P. C. Qualidade, avaliação e tipificação de carcaças das principais espécies de interesse zootécnico: bovina, suína e aves. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 10, p. e1719108422, 22 set. 2020. DOI: https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8422.

(4) BORGES, A. C. C.; SOUZA, S. M. O. Controle de temperatura: importância e influência na qualidade da carne bovina. *Pubvet*, v. 13, n. 7, p. 1–14, jul. 2019. DOI: https://doi.org/10.31533/pubvet.v13n7a366.1-14.

(5) MELO, A. F.; MOREIRA, J. M.; ATAÍDES, D. S.; GUIMARÃES, R. A. M.; LOIOLA, J. L.; OLIVEIRA, R. Q. Fatores que influenciam na qualidade da carne bovina: revisão. *Pubvet*, v. 10, n. 10, out. 2016a. DOI: https://doi.org/10.22256/pubvet.v10n10.785-794

(6) GARZILLO, J. M. F.; POLI, V. F. S.; LEITE, F. H. M.; MARTINEZ-STEELE, E.; MACHADO, P. P.; LOUZADA, M. L. C.; LEVY, R. B.; MONTEIRO, C. A. Food consumption in Brazil: influence of beef on environmental impact and nutritional quality of the diet. *Revista de Saúde Pública*, v. 56, p. 102, 2022. DOI: https://doi.org/10.11606/s1518-8787.2022056004830.

(7) SMITH, H. R.; WILBORN, B. S.; PARNELL, A. G.; REYES, T. M.; WAGONER, M. P.; YODER, L. E.; BLYTHE, E.; MULVANEY, D. R.; RODNING, S. P.; MULLENIX, M. K.; BONNER, T.; SAWYER, J. T. Impact of packaging film and

beef trimmings on ground beef shelf life. *Foods*, v. 10, n. 8, 1 ago. 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/foods10081923.

(8) COSTA, M. A.; BERNARDO, D. B. F.; VIDAL, A. E. S.; MENDONÇA, S. F. T. O.; GOMES, G. M. S.; SALES FILHO, R. L. M. Embalagem sustentável de alimentos: uma revisão sistemática. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 12, n. 10, p. 416–427, 20 out. 2021. DOI: https://doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2021.010.0033.

(9) MATEUS, K. A.; SANTOS, M. R.; VIANA, L. R.; CAMILLO, D. M.; KESSLER, J. D. Maturation period of bovine meat subjected to vacuum modifies physical-chemical and microbiological parameters. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 17, n. 4, p. 599–602, 2018. DOI: https://doi.org/10.5965/223811711732018599.

(10) JÚNIOR, G. R. Fatores que interferem na qualidade da carne bovina na propriedade rural. 2020. Monografia (Graduação) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2020.

(11) PACHECO, R. L.; LATORRACA, C. O. C.; MARTIMBIANCO, A. L. C.; PACHITO, D. V.; RÍERA, R. PROSPERO: base de registro de protocolos de revisões sistemáticas. Estudo descritivo. *Diagnóstico e Tratamento*, v. 23, n. 3, p. 101–104, 2018. Disponível em: https://docs.bvsalud.org/biblioref/2019/01/969297/rdt_v23n3_101-104.pdf. Acesso em: 19 jun. 2023.

(12) PEREIRA, M. G.; GALVÃO, T. F. Etapas de busca e seleção de artigos em revisões sistemáticas da literatura. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 23, n. 2, p. 369–371, jun. 2014. DOI: https://doi.org/10.5123/s1679-49742014000200019.

(13) MELO, A. F.; MOREIRA, J. M.; ATAÍDES, D. S.; GUIMARÃES, R. A. M.; LOIOLA, J. L.; OLIVEIRA, R. Q. Fatores que influenciam na qualidade da carne bovina: revisão. *Pubvet*, v. 10, n. 10, out. 2016c. DOI: https://doi.org/10.22256/pubvet.v10n10.785-794

(14) RIBEIRO, J. C. P. Aspectos determinantes para adoção de sistemas agroflorestais no Brasil: revisão sistemática e metanálise. 2022. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2022. Disponível em: https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/31040/1/texto%20completo.pdf. Acesso em: 28 jun. 2023.

(15) DORN-IN, S.; FÜHRER, L.; GAREIS, M.; SCHWAIGER, K. Cold-tolerant microorganisms causing spoilage of vacuum-packed beef under time-temperature abuse determined by culture and qPCR. *Food Microbiology*, v. 109, 1 fev. 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fm.2022.104147.

(16) NETHRA, P. V.; SUNOOJ, K. V.; AALIYA, B.; NAVAF, M.; AKHILA, P. P.; SUDHEESH, C.; MIR, S. A.; SHIJIN, A.; GEORGE, J. Critical factors affecting the shelf life of packaged fresh red meat – a review. *Measurement: Food*, v. 10, 1 jun. 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.meafoo.2023.100086

(17) MCSHARRY, S.; KOOLMAN, L.; WHYTE, P.; BOLTON, D. The microbiology of beef steaks stored aerobically or anaerobically in vacuum pack films with different oxygen barrier properties. *Food Packaging and Shelf Life*, v. 26, 1 dez. 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100597.

(18) KIRTONIA, K.; SALAUDDIN, M.; BHARADWAJ, K. K.; PATI, S.; DEY, A.; SHARIATI, M. A.; TILAK, V. K.; KUZNETSOVA, E.; SARKAR, T. Bacteriocin: a new strategic antibiofilm agent in food industries. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v. 36, p. 102141, 1 set. 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102141.

(19) 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, 1 jun. 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.02.003.

(20) LYU, F.; ZHAO, Y.; SHEN, K.; ZHOU, X.; ZHANG, J.; DING, Y. Using pretreatment of carbon monoxide combined with chlorine dioxide and lactic acid to maintain quality of vacuum-packaged fresh beef. *Journal of Food Quality*, v. 2018, 2018. DOI: https://doi.org/10.1155/2018/3158086.

(21) RODRIGUES, J. B. M.; SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; BROMBERG, R.; ANDRADE, J. C.; BRUNELLI, K.; MIYAGUSKU, L.; MARQUEZINI, M. G.; YAMADA, E. A. Evaluation of the effectiveness of non-irradiated and chlorine-free packaging for fresh beef preservation. *Meat Science*, v. 125, p. 30–36, 1 mar. 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.11.006.

(22) MENDES, C. G.; MARTINS, J. T.; LÜDTKE, F. L.; GERALDO, A.; PEREIRA, A.; VICENTE, A. A.; VIEIRA, J. M. Chitosan coating functionalized with flaxseed oil and green tea extract as a bio-based solution for beef preservation. *Foods*, v. 12, n. 7, 1 abr. 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/foods12071447

(23) VAN ROOYEN, L. A.; ALLEN, P.; CRAWLEY, S. M.; O'CONNOR, D. I. The effect of carbon monoxide pretreatment exposure time on the colour stability and quality attributes of vacuum packaged beef steaks. *Meat Science*, v. 129, p. 74–80, 1 jul. 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.02.017.

SUBSTITUIÇÃO DA ERITROSINA POR CORANTES NATURAIS EM CEREJAS ENDULÇADAS COM POLIÓIS PREBIÓTICOS: UMA ABORDAGEM NUMÉRICO-ANALÍTICA PARA SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS E SEGURAS

SOLVING ERYTHROSINE HEALTH CONCERNS THROUGH NATURAL DYE AND POLYOL PREBIOTIC SWEETENING IN CHERRIES: AN ADVANCED NUMERICAL-ANALYTICAL APPROACH

DOI: 10.65747/conali2025v3c19

Juan Ignacio González Pacheco[1,3,4]; Mariela Beatriz Maldonado[2]; Heleno Bispo da Silva Júnior[3]; Rennan Pereira de Gusmão[4]

[1] Bolsista de doutorado e docente/pesquisador do Laboratório de Tratamento de Alimentos e Efluentes - LATE. Departamento de Engenharia Química, Faculdade Regional de Mendoza, Universidade Tecnológica Nacional - UTN FRM; E-mail: jngonzalez534@gmail.com

[2] Pesquisadora do Conselho Nacional de Pesquisa Científica e Técnica, Centro Científico Tecnológico de Mendoza, Argentina - CCT CONICET

[3] Docente/pesquisador do Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

[4] Docente/pesquisador do Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

Resumo: O presente estudo investiga a difusão de corantes sintético (eritrosina) e natural (gardenia vermelha) em cerejas do tipo Bing, utilizando uma abordagem numérico-analítica para analisar seu comportamento durante o processo de coloração e adoçamento com soluções hiperosmóticas de sacarose e xilitol. Amostras foram submetidas a diferentes concentrações de corantes (119, 238 e 357 ppm) e temperaturas (40, 50 e 60°C), avaliando-se a penetração dos compostos por espectrofotometria, parâmetros de cor CIELAB e cálculo dos coeficientes efetivos de difusão para pele e polpa. Modelos analíticos e numéricos em geometria esférica, com condições de contorno tipo Robin, permitiram visualizar perfis espaço-temporais de concentração e comprovar ajustes estatísticos robustos (R^2>99%). Verificou-se que temperatura e concentração atuam sinergicamente, intensificando a difusão, e que o gardenia vermelho apresenta coeficientes significativamente superiores devido à sua menor massa molecular, resultando em coloração mais uniforme e eficiente. A epiderme funcionou como barreira dupla para a transferência de massa, reduzindo os coeficientes de difusão em até duas ordens de magnitude em relação à polpa. Conclui-se que corantes naturais como o gardenia vermelho são alternativas viáveis e eficazes à eritrosina, especialmente sob condições ótimas (357 ppm, 60°C), favorecendo a produção alimentar sustentável e alinhada às demandas de saúde. Parte dos resultados apresentados deriva do artigo publicado na revista Nature's Scientific Reports, intitulado "Diffusion in biological media: a comprehensive numerical-analytical study via surface

analysis and diffusivities calculation", e compõe um avanço da minha tese doutoral "Estudo do fenômeno de difusão de colorantes naturais em cerejas em conserva elaboradas com polialcoóis".

Palavras–chave: corantes naturais; modelagem matemática; produção alimentar natural; transferência de massa; xilitol

Abstract: This study examines the diffusion of synthetic (erythrosine) and natural (red gardenia) dyes in Bing-type cherries via a comprehensive numerical-analytical approach, focusing on their behaviour during sweetening and colouring with hyperosmotic sucrose-xylitol solutions. Samples were exposed to varying dye concentrations (119, 238, and 357 ppm) and temperatures (40, 50, 60°C). The process was monitored using spectrophotometry, CIELAB colour measurements, and effective diffusion coefficient calculations for both skin and flesh, which were fitted to analytical and numerical models with a strong statistical performance ($R^2 > 0.99$). Spherical geometric modelling with Robin boundary conditions enabled temporal and spatial visualisation of concentration profiles. Results revealed a synergistic effect of temperature and concentration on increasing diffusion, with red gardenia showing notably higher coefficients due to its lower molecular mass, resulting in more efficient and homogeneous colour distribution. The cherry skin acted as a double barrier, reducing diffusion coefficients by up to two orders of magnitude compared to the flesh. The findings demonstrate that natural dyes, such as those derived from red gardenia, are effective and viable alternatives to erythrosine, especially under optimal conditions (357 ppm, 60°C), supporting sustainable and health-conscious food production. Part of the results herein are derived from the article published in Nature's Scientific Reports titled "Diffusion in biological media: a comprehensive numerical-analytical study via surface analysis and diffusivities calculation", as part of the doctoral thesis "Study of the diffusion phenomenon of natural colourants in preserved cherries prepared with polyalcohols".

Keywords: natural colourants; mathematical modelling; natural food production; mass transfer; xylitol

INTRODUÇÃO

A difusão de substâncias em meios biológicos é um fenômeno fundamental para o avanço científico e tecnológico em áreas como a engenharia de alimentos, a química aplicada e a biotecnologia. No contexto alimentar, o transporte eficiente de corantes e adoçantes em matrizes vegetais não só tem impacto direto na qualidade sensorial e visual dos produtos, mas também influi nas suas propriedades funcionais e no valor nutricional (1–3). A crescente preocupação dos consumidores e da indústria com alimentos saudáveis e sustentáveis motivou a busca por alternativas naturais aos aditivos sintéticos — tanto no caso dos corantes quanto dos açúcares convencionais (4,5).

Ainda que os corantes sintéticos, como a eritrosina, sejam amplamente utilizados por suas propriedades de estabilidade e intensidade cromática, estudos têm associado seu consumo prolongado a riscos à saúde, incluindo efeitos alérgicos (6,7), distúrbios comportamentais e potencial toxicidade (8–12). Dessa forma, existe um interesse crescente em corantes naturais como o gardenia vermelho, que podem substituir com segurança os sintéticos sem comprometer a atratividade dos produtos. Paralelamente, a substituição parcial ou total do açúcar de mesa e do xarope de milho de alta frutose

(HFCS) por poliálcoois de efeito prebiótico — especialmente o xilitol — representa uma tendência promissora, pois alia doçura semelhante com baixo valor calórico e benefícios para a saúde intestinal (13–18).

Neste cenário, o presente estudo se dedica à análise detalhada dos mecanismos de difusão de corantes artificial (eritrosina) e natural (gardenia vermelho) em cerejas do tipo Bing, considerando também o papel de soluções adoçantes à base de sacarose e xilitol (19). O objetivo é compreender, de maneira quantitativa, como a temperatura, a concentração de corantes e a formulação adoçante afetam a cinética de penetração e os coeficientes efetivos de difusão desses compostos (20–24), tanto na epiderme quanto na polpa dos frutos.

Para isso, foram empregadas metodologias analíticas fundamentadas na segunda lei de Fick, além de modelagem numérica via elementos finitos, permitindo obter e comparar perfis espaço-temporais de concentração e mapear zonas de barreira difusiva. O estudo inova ao integrar análise de superfície (parâmetros CIELAB e espectrofotometria UV-VIS) com cálculos matemáticos robustos, garantindo alta precisão na determinação dos coeficientes de difusão.

A relevância científica e tecnológica deste trabalho reside na proposição de soluções industriais que respondam às demandas contemporâneas por produtos alimentícios seguros, naturais e funcionais. Ao validar a substituição da eritrosina por um corante natural e o uso de poliálcoois prebióticos, o estudo oferece caminhos para inovações na produção de doces cristalizados e derivados, alinhando-se às tendências de sustentabilidade e bem-estar (25–29). Além disso, contribui com ferramentas matemáticas e experimentais que podem ser estendidas ao estudo da difusão de outros compostos bioativos em diferentes matrizes biológicas, ampliando o impacto da investigação para múltiplas áreas do conhecimento.

MATERIAL E MÉTODOS

1. Materiais

Utilizaram-se cerejas do tipo Bing (Prunus avium), adquiridas em Luján de Cuyo, Mendoza, Argentina, cuidadosamente selecionadas, calibradas (27 mm de diâmetro médio), descaroçadas e desulfitadas. O processo de desulfitagem foi realizado por imersão das frutas em banhos de água potável à temperatura ambiente durante 24 horas, com renovação da água a cada 4 horas, para remover resíduos de anidrido sulfuroso utilizado na conservação. Foram empregados dois tipos de corantes, Eritrosina (sintético, Macsen Labs, Índia) e Gardenia vermelho (natural, Omya Inc., EUA). Ambos os corantes foram aplicados nas concentrações de 119, 238 e 357 ppm.

As soluções adoçantes foram preparadas com uma mistura de sacarose (50%) e xilitol (50%) em proporções w/v, com xilitol e outros polióis (lactitol e maltitol) de grau alimentício (30–34). Essas formulações foram replicadas para garantir a reprodutibilidade dos resultados dos testes, confirmando assim que não ocorreu cristalização na formulação selecionada (Tabela 1).

Tabela 1 – Formulações de soluções de sacarose e polialcoóis preparadas para cristalizar cerejas

Formulação (form i)	Composição	Concentração (% p/v)
form 1	Sacarose	100
form 2	Lactitol	100
form 3	Maltitol	25
form 4	Maltitol	50
form 5	Maltitol	75
form 6	Maltitol	100
form 7	Xilitol	25
form 8	Xilitol	50
form 9	Xilitol	75
form 10	Xilitol	100
form 11	Maltitol/Xilitol	75/25
form12	Maltitol/Xilitol	80/20
form13	Maltitol/Xilitol	90/10
form14	Maltitol/Xilitol	95/5
form15	Lactitol/Xilitol	75/25
form16	Lactitol/Xilitol	80/20
form17	Lactitol/Xilitol	90/10
form18	Lactitol/Xilitol	95/5

Fonte: Própria

Outros reagentes: Ácido cítrico e bicarbonato de sódio (ambos a 10% w/v) para ajuste do pH das soluções. Água destilada ou deionizada para preparo das soluções. Equipamentos: Banhos-maria controlados para ajuste de temperatura, agitador magnético com aquecimento (220 rpm), colorímetro Konica Minolta CR-400 (parâmetros CIELAB, iluminante D65) (35–37), espectrofotômetro UV-VIS (Perkin Elmer Lambda 35) para análise das concentrações dos corantes em solução, software *MATLAB® R2017a* para simulações numéricas e GraphPad PRISM para regressões (38–40).

2. Métodos

2.1. Preparação das Soluções Adoçantes

As soluções foram preparadas dissolvendo-se as quantidades adequadas de sacarose e xilitol em água destilada, sob agitação magnética a 60°C e 220 rpm, até obtenção de uma solução homogênea. As concentrações utilizadas aumentaram progressivamente de 25 até 65°Brix, simulando o método tradicional francês ou de impregnação lenta (19,30,41,42).

2.2. Processo de Adoçamento e Coloração

Após desulfitagem, as cerejas foram submetidas a adoçamento por múltiplas impregnações em soluções hiperosmóticas, com incrementos diários de concentração (25, 35, 45, 55 e 65°Brix). O processo de coloração foi iniciado quando a solução atingiu 35°Brix, com adição do corante nas concentrações propostas. O sistema permaneceu em repouso por 24 horas antes da próxima impregnação. Refrigerou-se a solução até aproximadamente 50°C antes da adição dos frutos, evitando plasmólise e enrugamento da casca. Todo o processo foi conduzido sob agitação contínua a 220 rpm em banhos-maria a temperaturas controladas de 40, 50 ou 60°C. O pH das soluções foi ajustado e mantido entre 4,2 e 4,8 utilizando-se ácido cítrico ou bicarbonato, conforme necessário, garantindo precipitação adequada do corante no interior da matriz do fruto e maior fixação da cor.

2.3. Amostragem e Análise de Cor

Em cada etapa de impregnação e após o término do processo, amostras de cerejas foram retiradas aleatoriamente de diferentes regiões do recipiente. As frutas foram cortadas em seções e analisadas em pontos equidistantes do centro até a periferia (2,63 mm, 5,26 mm e 10,53 mm aproximadamente). Os parâmetros L*, a*, b* (espaço de cor CIELAB) foram medidos em triplicata utilizando colorímetro, tanto na superfície externa quanto nas seções transversais. Para determinação da concentração dos corantes nas soluções de entrada e saída, amostras dos líquidos foram analisadas por espectrofotometria incorporando triplicatas para aumentar a precisão.

2.4. Determinação da Difusividade

As curvas de entrada (in) e saída (out) dos corantes foram registradas ao longo do tempo, sendo catalogadas para posterior ajuste a modelos matemáticos. A diferença de concentração temporal permitiu calcular os coeficientes efetivos de difusão para pele e polpa das cerejas.

2.4.a. Modelagem Matemática

Utilizou-se a segunda lei de Fick aplicada a esferas ocas para modelar o processo de difusão, ajustando-se os dados experimentais à solução de séries infinitas (até 220 termos), que será explicado mais adiante. Condições de contorno do tipo Robin (dupla fronteira, pele e polpa) foram implementadas.

Considerando a transferência de espécies, foi utilizada a equação do teorema de transporte de Reynolds. Assumindo que a concentração molar total da mistura binária é constante e que os coeficientes de difusão são independentes das coordenadas espaciais, a equação pode ser simplificada e expressa tensorialmente, equação (1), da seguinte forma (43):

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} + \left(\underline{v}^*.\nabla C_i\right) = D_{ij}\nabla^2 C_i + R_i - \frac{C_i}{C}\left(R_i + R_j\right) \quad (1)$$

Uma versão alternativa da equação (1) pode ser obtida ajustando o parâmetro de vermelhidão, a*, usando o método dos mínimos quadrados com uma abordagem linear, em comparação com a concentração atual de eritrosina ou corante vermelho de gardênia, equação (2), estabelecendo assim uma correlação que permitiu que os dados experimentais fossem ajustados à equação geral que rege o transporte de espécies (44,45).

$$\frac{\partial a^*}{\partial \Theta} = \frac{2}{R}\frac{\partial a^*}{\partial R} + \frac{\partial^2 a^*}{\partial R^2} \quad (2)$$

Sujeito às seguintes condições iniciais e de contorno:

$$C.I.: A\,\Theta = 0 \qquad a^* = \frac{{a_i}^* - {a_s}^*}{{a_i}^* - {a_s}^*} = 1 \qquad a \quad A \le R \le 1 \qquad (3)$$

$$C.F.1: A\,\Theta > 0 \qquad a^* = \frac{{a_s}^* - {a_s}^*}{{a_i}^* - {a_s}^*} = 0 \qquad a \qquad R = A \qquad (4)$$

$$C.F.2: A\,\Theta > 0 \qquad \frac{\partial a^*}{\partial R} + \frac{D_S}{D_F}\left(\frac{r_0}{r_s - r_0}\right)a^* = 0 \qquad a \qquad R = 1 \qquad (5)$$

Onde

$\Theta = \frac{D_{ij}\,t}{{r_o}^2}$; $R = \frac{r}{r_0}$; $A = \frac{r_A}{r_0}$; $a^* = \frac{{a_{(t)}}^* - {a_s}^*}{{a_i}^* - {a_s}^*}$

Observe que *A* é um raio adimensional, dado pela relação entre r_A e r_0, ${a_{(t)}}^*$ é a vermelhidão na polpa da cereja com o passar do tempo, ${a_s}^*$ é a vermelhidão na casca da cereja em contato com a solução adoçante e ${a_i}^*$ é a vermelhidão na polpa da cereja no início do experimento.

Então, uma série infinita pode ser expressa pela equação (6), representando a evolução do parâmetro volumétrico adimensional ${a_V}^*{}_{(\Theta)}$ em relação ao tempo adimensional Θ, modificada para aquela apresentada por Maldonado e González Pacheco (19,41).

$$a_V{}^*{}_{(\Theta)} = \frac{3}{(1 - A^3)}\sum_{1}^{\infty}\left\{\frac{1}{b}\left[\int_A^1 R^2\Phi_{n(R)}dR\right]^2 - \frac{WA_0}{{\lambda_n}^2 - A_1}\left[e^{({\lambda_n}^2 - A_1)\Theta} - 1\right]\int_A^1 R^2\Phi_{n(R)}dR\right\}e^{-{\lambda_n}^2\Theta} \qquad (6)$$

Simulações com método dos elementos finitos foram realizadas no *MATLAB*® utilizando malhas radiais e temporais (intervalo mm para raio, min para tempo), permitindo visualizar os perfis espaço-temporais de concentração.

Considerou-se apropriado assumir que a acumulação de solutos na casca, representada por $r_S - r_O$, e, consequentemente, a resistência à transferência de espécies, era insignificante em comparação com o fluxo através da superfície porosa e o próprio fluxo, dado pela espessura da casca da cereja de 0,0004 m (Fig. 1.b).

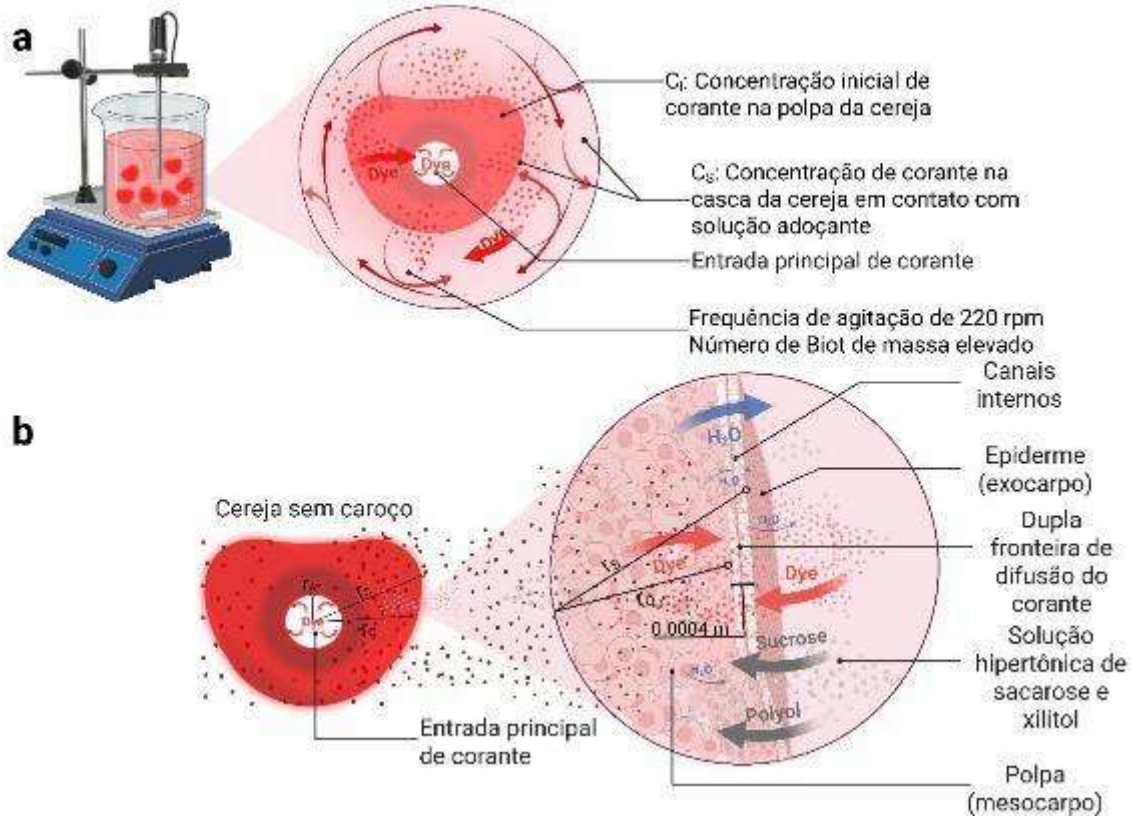


Figura 1 – a. Condições em que foram realizados os experimentos de coloração e impregnação das cerejas, às quais foram ajustadas as condições de fronteira. b. Representação esquemática dos raios internos da cereja e ampliação da zona da epiderme e sua área circundante, na qual se observa a formação de um limite de dupla difusão. A visualização ilustra um modelo simples do fluxo do corante através da polpa e da casca da cereja.

Fonte: Created in BioRender. González Pacheco, J. (2025)

A polpa das cerejas foi considerada homogênea e isotrópica, e o processo de difusão apresentou simetria radial com difusão unidirecional. Devido à grande agitação da solução adoçante em torno das superfícies interna e externa, a concentração nessas áreas adquire imediatamente a concentração do líquido (Fig. 1.a). Além disso, a espessura da epiderme era muito menor do que os raios das faces interna e externa. Assim, a diferença nas áreas de superfície pôde ser desconsiderada, e a espessura assumida como $r_S - r_O$ (Fig. 1.b). Deve-se observar que, apesar de criar 18 formulações distintas de adoçantes, as cerejas são imersas exclusivamente na solução hipertônica de sacarose-xilitol para o processo de cristalização.

Para determinar os coeficientes de difusão efetivos e os autovalores λ_n, foi empregado um método de regressão não linear iterativo utilizando o método dos mínimos quadrados em conjunto com o software *GraphPad PRISM © (V9.5.1, MA, EUA)*. Para um número de Biot de transferência de massa grande (nas condições mencionadas anteriormente) correspondente à condição de contorno especificada, equação (5), podem surgir erros de truncamento consideráveis, particularmente durante as etapas iniciais do processo. A regressão não linear baseada em um número limitado de termos na série de soluções analíticas para determinar a difusividade efetiva é considerada inadequada para obter resultados precisos. Consequentemente, os primeiros 220 termos da solução analítica da equação de difusão para geometria esférica foram incorporados (46,47).

2.5. Análise Estatística

Aplicaram-se métodos estatísticos como a análise de variância (ANOVA), testes de Tukey-Kramer e Scheffé, além de ajuste por mínimos quadrados e método do qui-quadrado. O nível de significância considerado foi $p < 0,05$. Os resultados dos coeficientes de difusão e outros parâmetros modelados foram apresentados como média ± desvio padrão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cinética de Entrada e Saída dos Corantes

A análise das curvas temporais de concentração mostrou que tanto a elevação da temperatura (de 40°C para 60°C) quanto o aumento da concentração dos corantes (de 119 para 357 ppm) resultaram em aceleração significativa da taxa de penetração de ambos os corantes na cereja. Observou-se que, nos primeiros 40 a 60 minutos do processo de coloração, a diferença de concentração entre o meio externo e o interior do fruto é máxima, proporcionando o maior gradiente de força motriz para a difusão. Ao longo do tempo, com o avanço da saturação da matriz frutífera, a velocidade de penetração dos corantes diminui gradativamente e as curvas de concentração tendem à estabilização, indicando aproximação do equilíbrio dinâmico (Fig. 2).

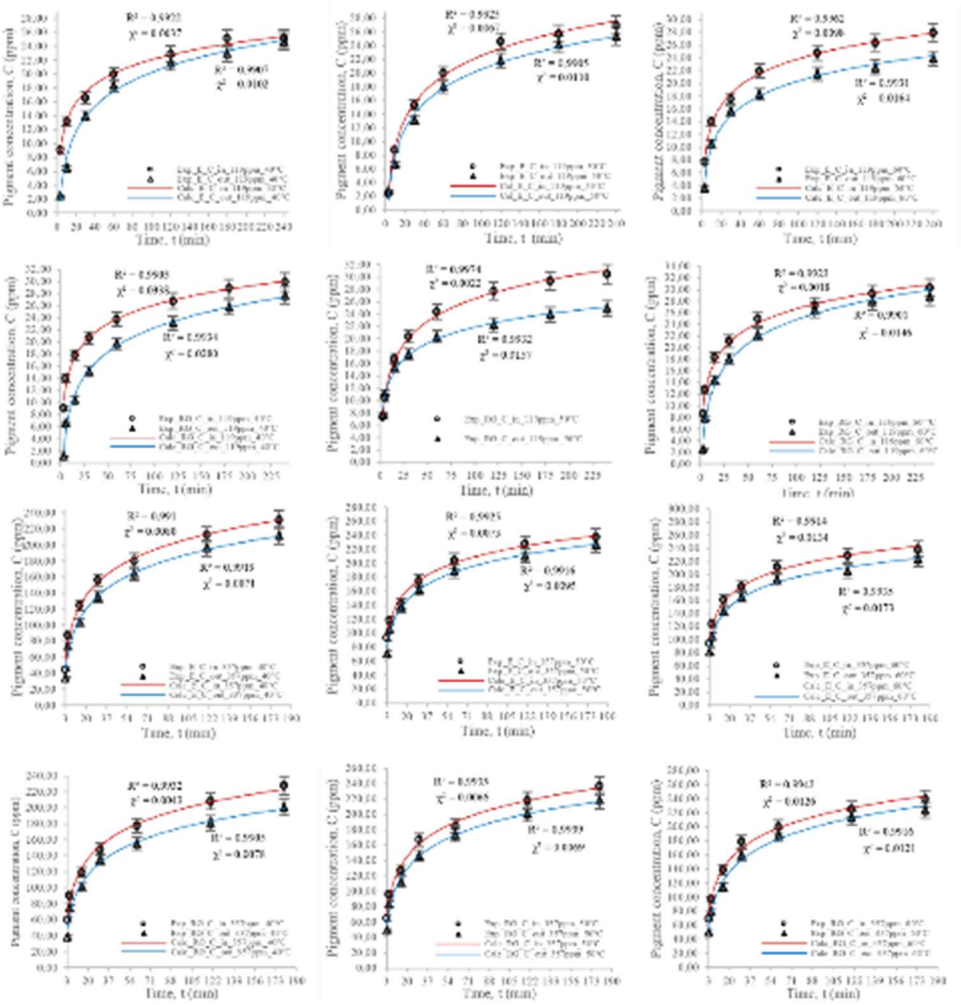


Figura 2 – Variações dependentes do tempo nas concentrações de entrada (in) e saída (out) dos corantes eritrosina (E) e gardênia vermelha (RG) a 119 e 357 ppm, e temperaturas de 40, 50 e 60 °C, ajustadas ao modelo analítico usando 220 termos da série infinita. Os valores de concentração obtidos através do modelo de esfera oca foram ajustados, resultando em coeficientes de determinação R^2 superiores a 99% e valores mínimos de qui-quadrado em todos os casos.

Fonte: Própria

Além disso, os valores de saída dos corantes obtidos por análise espectrofotométrica das soluções – foram consistentemente menores do que os valores de entrada, devido à retenção e precipitação dos corantes no interior do fruto, favorecida pela manutenção do pH entre 4,2 e 4,8. Esse controle tecnológico é fundamental para garantir maior fixação da cor, sendo um diferencial relevante do processo desenvolvido.

Difusividades Efetivas: Efeito da Temperatura e Concentração

O cálculo dos coeficientes efetivos de difusão revelou marcadas diferenças entre os corantes e entre os compartimentos do fruto (pele e polpa). Em geral, o gardenia vermelho apresentou coeficientes de difusão uma ordem de grandeza superiores aos da eritrosina em todas as condições avaliadas, tanto na pele quanto na polpa, evidenciando sua maior capacidade de migração e penetração na matriz. Esse comportamento é atribuído ao menor peso molecular do corante natural (388 g/mol) em relação ao sintético (880 g/mol), facilitando o trânsito pelas estruturas celulares do fruto (Fig. 3).

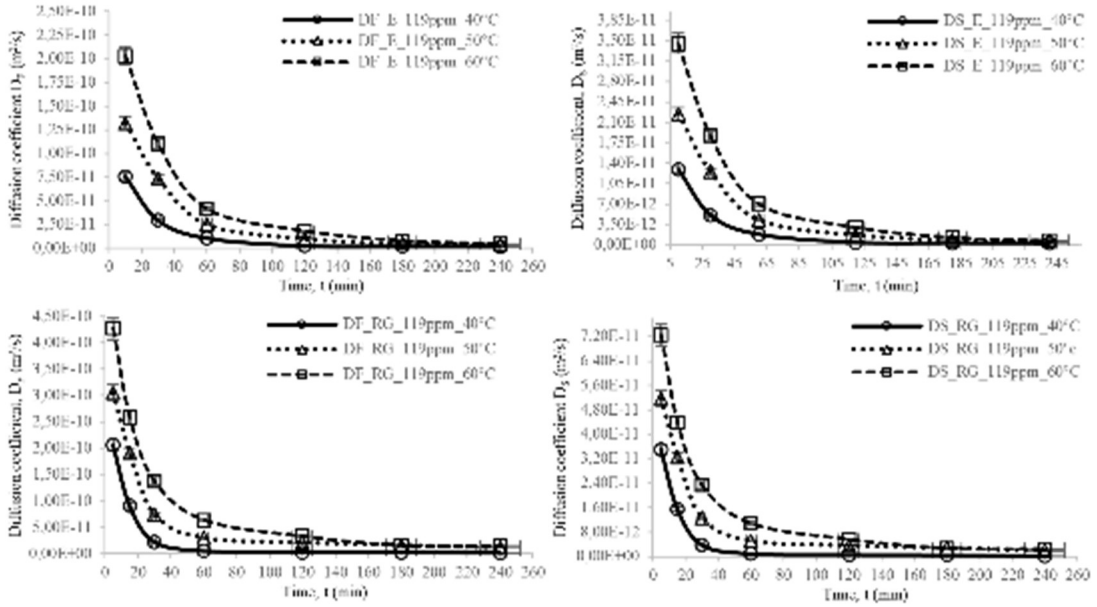


Figura 3 – Evolução dependente do tempo dos coeficientes de difusão efetivos para os corantes eritrosina (E) e gardênia vermelha (RG) na casca (DS) e na polpa (DF) da cereja a 119, 238 e 357 ppm e 40, 50 e 60 °C.

Fonte: Própria

Os valores de difusividade foram sistematicamente mais elevados para ambos os corantes à medida que aumentavam temperatura e concentração, com destaque para as condições ótimas (357 ppm a 60°C), onde gardenia vermelho atingiu coeficientes na ordem de $3,89\times10^{-8}$ m^2/s na polpa e $6,61\times10^{-9}$ m^2/s na pele, enquanto a eritrosina ficou limitada a cerca de $6,96\times10^{-10}$ m^2/s e $1,18\times10^{-10}$ m^2/s, respectivamente (48–50).

A epidermis da cereja se mostrou como uma barreira significativa, limitando a difusão: os coeficientes calculados para a pele foram entre uma e duas ordens de magnitude menores que aqueles medidos na polpa, alinhando-se com a literatura e reforçando a necessidade de considerar esse efeito em processos similares (51).

Perfis Espaço-Temporais e Análise de Superfície

Os mapas de distribuição espacial do parâmetro a* (vermelhidão) ao longo do raio do fruto evidenciaram um avanço progressivo da coloração, mais intenso nas áreas próximas à superfície. As simulações numéricas, baseadas em elementos finitos e nas soluções analíticas de Fick para esferas ocas, reproduziram com notável precisão (R^2>99%) o fenômeno físico, permitindo visualizar a formação de duplas barreiras de difusão na interface pele-polpa por meio de condições de contorno tipo Robin (Fig. 4).

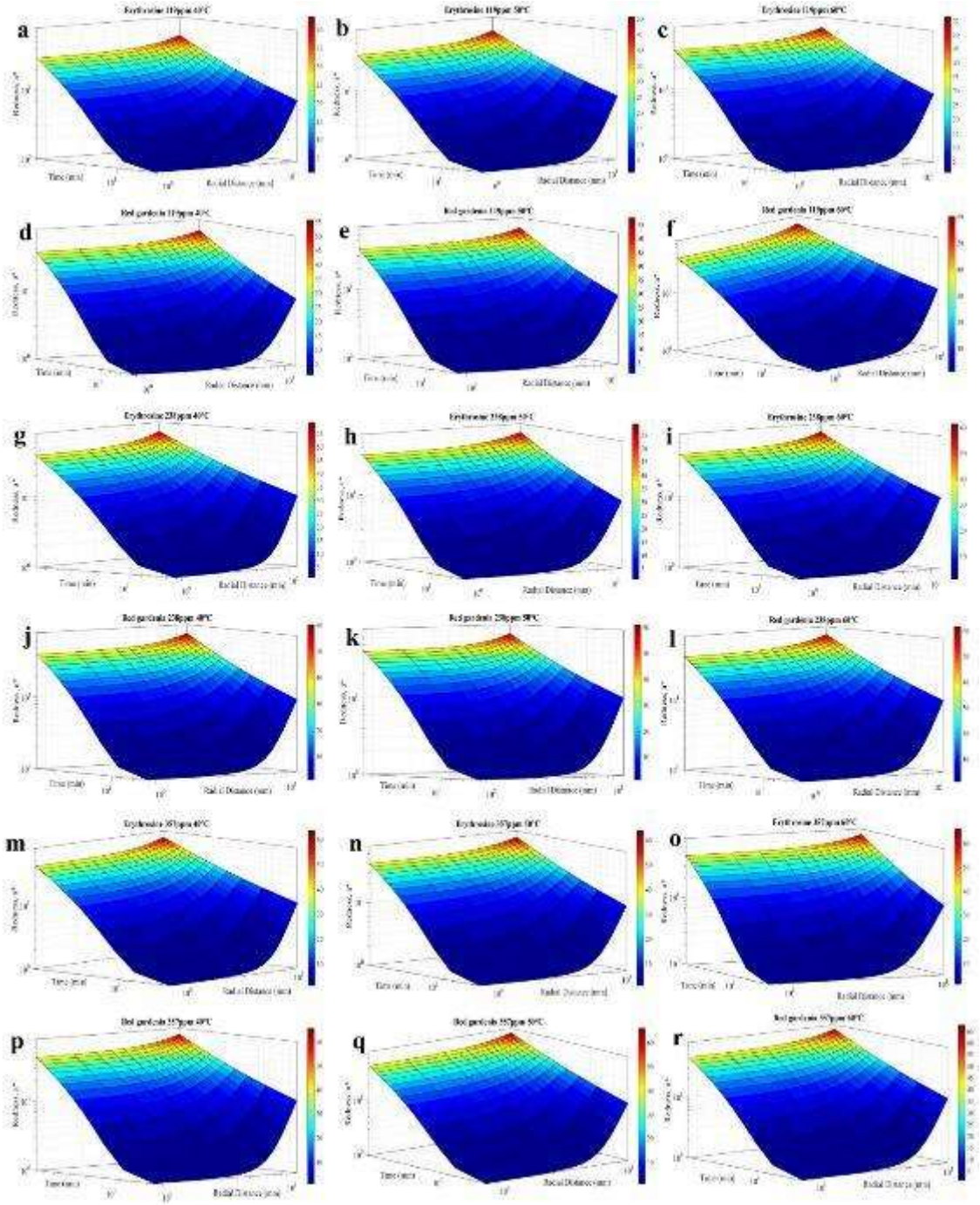


Figura 4 – Evolução dependente do tempo dos coeficientes de difusão efetivos para os corantes eritrosina (E) e gardênia vermelha (RG) na casca (DS) e na polpa (DF) da cereja a 119, 238 e 357 ppm e 40, 50 e 60 °C.
Fonte: Própria

Nestes mapas, as maiores intensidades de cor coincidiram com os pontos de contato entre a pele e a polpa, fato que corrobora a hipótese de permeabilidade diferencial das camadas superficiais e sua influência decisiva na cinética global de difusão (52–56).

Foi observado que, após cerca de 60 minutos, ocorre um decréscimo no gradiente de concentração entre o exterior e o interior da fruta, indicando um estágio de quase saturação da matriz. Isso não apenas reduz a força motriz para entrada adicional de corante, mas também pode ser um limitante operacional relevante quando se busca eficiência máxima em processos industriais.

Além disso, a quantidade de corante extraída em experimentos de saída foi limitada, evidenciando a retenção do pigmento na matriz pelo controle de pH, mantendo a coloração estável mesmo após longos períodos, um resultado tecnologicamente desejável para a indústria de frutas cristalizadas.

Comparação entre Eritrosina e Gardenia: Implicações Tecnológicas

O desempenho superior do gardenia vermelho em termos de velocidade de difusão e uniformidade de coloração, aliado ao benefício de ser um corante de origem natural e livre dos efeitos nocivos e regulatórios associados à eritrosina, demonstra a viabilidade técnica da substituição do corante sintético no contexto industrial. Além disso, a matriz adoçante sacarose-xilitol utilizada no estudo permitiu o desenvolvimento de produtos com menor teor calórico e propriedades prebióticas, respondendo a tendências atuais de mercado e saúde pública.

Tabela 2 – Coeficientes médios de difusão efetiva dos corantes eritrosina e gardênia vermelha na casca (DS) e na polpa (DF) da cereja durante os primeiros 60 minutos após o início do processo de coloração, em concentrações de 119, 238 e 357 ppm e 40, 50 e 60 °C, juntamente com parâmetros estatísticos fornecidos para indicar a incerteza associada ao modelo matemático

Corante	T(°C)	C(ppm)	D_F† (m^2/s)	*n*	*p*	R^2	*RMSE*	χ^2
Eritrosina	40	119	3.87E-11±3.36E-11[a,‡]	5	>0.05	0.9922	6.68E-02	3.70E-03
	50		7.69E-11±5.34E-11[a]	5	>0.05	0.9925	6.20E-02	6.70E-03
	60		1.18E-10±8.12E-11[a]	5	>0.05	0.9962	3.64E-02	9.80E-03
	40	238	3.79E-11±8.59E-12[a]	5	>0.05	0.9966	9.55E-02	2.60E-03
	50		8.40E-11±3.50E-11[a]	5	>0.05	0.9912	9.39E-02	9.40E-03
	60		1.51E-10±1.73E-10[a]	5	>0.05	0.9916	2.96E-02	8.20E-03
	40	357	2.04E-10±2.21E-10[a]	4	>0.05	0.9910	9.95E-02	8.00E-03
	50		4.29E-10±3.89E-10[a]	4	>0.05	0.9925	7.87E-02	7.30E-03
	60		6.96E-10±6.43E-10[a]	4	>0.05	0.9914	4.21E-02	1.34E-02
	T(°C)	**C(ppm)**	**D_S† (m^2/s)**	***n***	***p***	**R^2**	***RMSE***	**χ^2**
	40	119	6.57E-12±5.71E-12[a]	4	>0.05	0.9907	4.47E-02	1.02E-02
	50		1.31E-11±9.08E-12[a]	4	>0.05	0.9905	2.82E-01	1.10E-02
	60		2.01E-11±1.38E-11[a]	4	>0.05	0.9931	7.82E-02	1.64E-02
	40	238	8.04E-12±1.46E-12[a]	4	>0.05	0.9968	7.94E-01	3.40E-03
	50		1.55E-11±5.96E-12[a]	4	>0.05	0.9901	1.64E-01	2.37E-02
	60		2.56E-11±2.93E-11[a]	4	>0.05	0.9905	4.49E-02	1.70E-02
	40	357	3.46E-11±3.76E-11[a]	4	>0.05	0.9919	5.89E-02	7.10E-03

	50		7.28E-11±6.61E-11[a]	4	>0.05	0.9916	1.45E-01	9.50E-03
	60		1.18E-10±1.09E-10[a]	4	>0.05	0.9935	4.40E-02	1.73E-02
Corante	**T(°C)**	**C(ppm)**	**D_F† (m^2/s)**	***n***	***p***	***R^2***	***RMSE***	***χ^2***
	40		1.07E-10±9.27E-11[a]	4	>0.05	0.9903	3.31E-02	3.38E-02
	50	119	1.90E-10±1.15E-10[a]	4	>0.05	0.9974	1.26E-02	2.20E-03
	60		2.74E-10±1.45E-10[a]	4	>0.05	0.9923	5.62E-02	1.80E-03
	40		1.85E-10±7.58E-11[a]	4	>0.05	0.9938	9.57E-02	1.03E-02
	50	238	1.99E-10±9.45E-11[a]	4	>0.05	0.9941	8.47E-02	3.70E-03
	60		4.37E-10±2.31E-10[a]	4	>0.05	0.9935	2.82E-02	8.20E-03
	40		1.43E-08±1.48E-08[ab]	4	0.001	0.9932	5.58E-02	4.30E-03
	50	357	2.28E-08±1.95E-08[ab]	4	0.001	0.9935	5.32E-01	6.60E-03
	60		3.89E-08±2.55E-08[b]	4	0.001	0.9942	7.32E-02	1.26E-02
Gardênia Vermelha	T(°C)	C(ppm)	D_S† (m^2/s)	*n*	*p*	*R^2*	*RMSE*	*χ^2*
	40		1.81E-11±1.57E-11[a]	5	>0.05	0.9934	7.05E-02	2.80E-02
	50	119	3.23E-11±3.23E-11[a]	5	>0.05	0.9932	4.77E-02	1.57E-02
	60		4.66E-11±2.47E-11[a]	5	>0.05	0.9901	9.40E-02	1.46E-02
	40		1.94E-11±1.29E-11[a]	4	>0.05	0.9936	6.07E-02	1.10E-02
	50	238	3.56E-11±1.60E-11[a]	4	>0.05	0.9916	1.91E-01	1.20E-02
	60		4.03E-11±3.90E-11[a]	4	>0.05	0.9918	1.19E-02	9.90E-03
	40		2.42E-09±2.52E-09[ab]	4	0.002	0.9905	1.99E-02	7.80E-03
	50	357	3.87E-09±3.30E-09[ab]	4	0.002	0.9939	8.37E-02	6.90E-03
	60		6.61E-09±4.34E-09[b]	4	0.001	0.9916	8.98E-03	1.21E-02

†Os coeficientes de difusão efetivos na carne (D_F) e na pele (D_S) são apresentados como médias ± DP. ‡Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas ($p<0,05$). T: temperatura do ensaio, C: concentração do corante, p: valores p, n: tamanho da amostra, R^2: coeficiente de determinação, RMSE: erro quadrático médio, χ^2: valores qui-quadrado.
Fonte: Própria

A aplicação rigorosa de análises estatísticas (ANOVA, Tukey-Kramer, mínimos quadrados, valores de RMSE e χ^2) assegurou a robustez e reprodutibilidade dos resultados. Diferenças estatisticamente relevantes ($p < 0,05$) foram observadas para gardenia vermelho nas diferentes temperaturas, enquanto para eritrosina, a estabilidade dos coeficientes indicou menor sensibilidade à variação térmica (Tabela 2).

Os coeficientes de difusão obtidos neste estudo se encontram em boa concordância com valores reportados para outros frutos submetidos a processos osmóticos e de coloração, tanto para materiais vegetais ricos em água (como maçã ou kiwi) quanto em modelagens similares de esferas ocas (57–60). Os efeitos de temperatura, barreira epidérmica e saturação cinética foram corroborados por outros autores, fortalecendo a validade dos achados e sua aplicação prática.

CONCLUSÕES

O presente estudo analisou, de forma integrada e detalhada, o comportamento difusivo dos corantes eritrosina (sintético) e gardenia vermelha (natural) em cerejas do tipo Bing submetidas a um processo de cristalização por impregnação múltipla com soluções de sacarose e xilitol. Os resultados obtidos demonstraram, de maneira conclusiva, que temperatura e concentração dos corantes atuam de forma sinérgica na intensificação dos coeficientes de difusão e na penetração do corante na matriz do fruto, sendo as condições ótimas identificadas em 357 ppm e 60 °C.

Observou-se que o corante gardenia, por apresentar menor massa molecular, possui difusividade significativamente superior à da eritrosina, atingindo coeficientes de difusão entre duas e três ordens de magnitude mais elevados, tanto na polpa quanto na epiderme. Isso implica em uma taxa de coloração mais rápida e mais uniforme, caracterizando o corante natural como alternativa viável e eficaz à eritrosina, não apenas por razões técnicas, mas também em alinhamento com as demandas de mercado por produtos naturais e seguros.

Adicionalmente, confirmou-se que a epiderme da cereja representa uma barreira física importante ao transporte de massa, com coeficientes de difusão até duas ordens de magnitude menores que os do mesocarpo (polpa). A modelagem matemática, tanto analítica quanto numérica, validou com alta precisão ($R^2 > 99\%$) o comportamento observado experimentalmente, possibilitando a visualização espaço-temporal dos perfis de concentração.

Portanto, o uso combinado do corante natural gardenia e do adoçante prebiótico xilitol oferece uma solução tecnológica segura, funcional e sustentável, com potencial de aplicação em escala industrial na produção de frutas cristalizadas e produtos similares, promovendo avanços na inovação alimentar voltada para saúde e qualidade.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos às instituições CONICET, UTN FRM e UFCG.

REFERÊNCIAS

1. Bohra P, Waman AA, Roy TK, Shivashankara KS. Blood fruit (Haematocarpus validus (Miers.) Bakh. f. ex Forman): a novel source of natural food colourant. J Food Sci Technol. 2020;57(1).
2. Imchen T, Singh KS. Marine algae colorants: Antioxidant, anti-diabetic properties and applications in food industry. Vol. 69, Algal Research. 2023.

3. Vinha AF, Rodrigues F, Nunes MA, Oliveira MBPP. Natural pigments and colorants in foods and beverages. In: Polyphenols: Properties, Recovery, and Applications. 2018.

4. Malabadi RB, Kolkar KP, Chalannavar RK. Plant natural pigment colorants-health benefits: toxicity of synthetic or artificial food colorants. International Journal of Innovation Scientific Research and Review. 2022;04(10).

5. Maldonado MB. Nuevos desafíos para la industria alimentaria y los nuevos conocimientos acerca del tercer cerebro. Revista de Nutrición Clínica y Metabolismo (Internet). 2021 Oct 8 (cited 2022 May 4);4(4):92–7. Available from: https://revistanutricionclinicametabolismo.org/index.php/nutricionclinicametabolismo/article/view/326/562

6. Weisbrod DB, Caruana DL, Li D, Wan L, Szema AM. A Case Report of Allergic Hypersensitivity to Color Additives in Slurpee® Beverages. Yale Journal of Biology and Medicine. 2023;96(1).

7. Sadighara P, Safta M, Limam I, Ghanati K, Nazari Z, Karami M, et al. Association between food additives and prevalence of allergic reactions in children: A systematic review. Vol. 38, Reviews on Environmental Health. 2023.

8. Singh M, Chadha P. Erythrosine-Induced Neurotoxicity: Evaluating Enzymatic Dysfunction, Oxidative Damage, DNA Damage, and Histopathological Alterations in Wistar Rats. Journal of Applied Toxicology (Internet). 2024 Apr 1 (cited 2025 Jun 21);45(4):576–86. Available from: /doi/pdf/10.1002/jat.4731

9. Lakdawalla AA, Netrawali MS. Erythrosine, a permitted food dye, is mutagenic in the Bacillus subtilis multigene sporulation assay. Mutation Research/Genetic Toxicology (Internet). 1988 Oct 1 (cited 2025 Jul 18);206(2):171–6. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0165121888901577

10. Singh M, Chadha P. Dose-Dependent Hepatorenal Damage Induced by Erythrosine: A Study of Biochemical, Oxidative Stress, DNA Damage, and Histopathological Effects in Wistar Rats. Journal of Applied Toxicology (Internet). 2025 (cited 2025 Mar 18); Available from: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jat.4754

11. Singh M, Chadha P. Dose-Dependent Hepatorenal Damage Induced by Erythrosine: A Study of Biochemical, Oxidative Stress, DNA Damage, and Histopathological Effects in Wistar Rats. Journal of Applied Toxicology (Internet). 2025 May 1 (cited 2025 Jun 21);45(5):884–97. Available from: /doi/pdf/10.1002/jat.4754

12. Matula TI, Downie RH. Genetic toxicity of erythrosine in yeast. Mutation Research/Genetic Toxicology (Internet). 1984 Nov 1 (cited 2025 Jun 21);138(2–3):153–6. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0165121884900387?via%3Dihub

13. Umai D, Kayalvizhi R, Kumar V, Jacob S. Xylitol: Bioproduction and Applications-A Review. Vol. 3, Frontiers in Sustainability. 2022.

14. Salli K, Lehtinen MJ, Tiihonen K, Ouwehand AC. Xylitol's health benefits beyond dental health: A comprehensive review. Vol. 11, Nutrients. 2019.

15. Gasmi Benahmed A, Gasmi A, Arshad M, Shanaida M, Lysiuk R, Peana M, et al. Health benefits of xylitol. Vol. 104, Applied Microbiology and Biotechnology. 2020.

16. Burgess ER, Taylor EE, Acevedo A, Tworek M, Nayduch D, Khurana N, et al. Diets of erythritol, xylitol, and sucrose affect the digestive activity and gut bacterial community in adult house flies. Entomol Exp Appl. 2021;169(10).

17. Asasta AR, Armando DW, Tissadharma JC, Theo KA, Nobelta N. Sugar Alcohol: A Comparison of Xylitol and Sorbitol in Food Application. Jurnal Global Ilmiah. 2024;1(4).

18. Xiang S, Ye K, Li M, Ying J, Wang H, Han J, et al. Xylitol enhances synthesis of propionate in the colon via cross-feeding of gut microbiota. Microbiome. 2021;9(1).

19. Maldonado M, González Pacheco J. Mathematical modelling of mass transfer phenomena for sucrose and lactitol molecules during osmotic dehydration of cherries. Heliyon. 2022 Jan 1;8(1):e08788.

20. Gusmão RP de, Souza Gusmão TA, Rangel ME, Cavalcanti-Mata M, Martins Duarte ME. Mathematical Modeling and Determination of Effective Diffusivity of Mesquite during Convective Drying. Am J Plant Sci. 2016;07(06).

21. Jongyingcharoen JS, Naweera W, Sangruangnak S, Assawadejmethakul A. Determination of Effective Moisture Diffusivity Considering Shrinkage for Vibration-Assisted Infrared Drying of Pumpkin. BIO Web Conf (Internet). 2025 Jan 15 (cited 2025 Mar 19);150:03001. Available from: https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/abs/2025/01/bioconf_icbae2025_03001/bioconf_icbae2025_03001.html

22. Pinheiro MNC, Castro LMMN. Effective moisture diffusivity prediction in two Portuguese fruit cultivars (Bravo de Esmolfe apple and Madeira banana) using drying kinetics data. Heliyon. 2023;9(7).

23. Pinheiro RMM, Da Silva WP, Miranda DSDA, E Silva CMDPS, Pessoa T, De Medeiros MS. Description of Osmotic Dehydration of Melon Cubes using a Three-dimensional Diffusion Model: An Algorithm to Determine the Effective Diffusivity. International Journal of Food Engineering. 2017;13(12).

24. de Lima Ferreira JP, da Silva WP, Paiva YF, Amadeu LTS. Impact of ultrasound pretreatment on banana chip production by convective drying using hot air: Consideration of shrinkage and variable effective mass diffusivity in the process description. J Food Process Eng. 2024;47(3).

25. Pandiselvam R, Tak Y, Olum E, Sujayasree OJ, Tekgül Y, Çalışkan Koç G, et al. Advanced osmotic dehydration techniques combined with emerging drying methods for sustainable food production: Impact on bioactive components, texture, color, and sensory properties of food. J Texture Stud (Internet). 2021 (cited 2021 Dec 16); Available from: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jtxs.12643

26. Yadav S, Tiwari KS, Gupta C, Tiwari MK, Khan A, Sonkar SP. A brief review on natural dyes, pigments: Recent advances and future perspectives. Vol. 5, Results in Chemistry. 2023.

27. Prabhu KH, Bhute AS. Plant based dyes and mordant: A Review Plant based natural dyes and mordnats: A Review. J Nat Prod Plant Resour (Internet). (cited 2021 Dec 20);2012(6):649–64. Available from: http://scholarsresearchlibrary.com/archive.html

28. Alegbe EO, Uthman TO. A review of history, properties, classification, applications and challenges of natural and synthetic dyes. Heliyon (Internet). 2024 Jul 15 (cited 2025

Mar 18);10(13). Available from: https://www.cell.com/action/showFullText?pii=S2405844024096774

29. Alegbe EO, Uthman TO. A review of history, properties, classification, applications and challenges of natural and synthetic dyes. Heliyon (Internet). 2024 Jul 15 (cited 2025 Jun 15);10(13):e33646. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024096774

30. Maldonado M, González Pacheco J. Shrinkage phenomenon in cherries during osmotic dehydration. Annals Food Science and Technology (Internet). 2020 (cited 2021 Aug 25);21(1):19–30. Available from: http://www.afst.valahia.ro/images/documente/2020/I.2_Maldonado.pdf

31. Kowalska H, Woźniak Ł, Masiarz E, Stelmach A, Salamon A, Kowalska J, et al. The impact of using polyols as osmotic agents on mass exchange during osmotic dehydration and their content in osmodehydrated and dried apples. Drying Technology. 2020;38(12).

32. Rubio-Arraez S, Capella J V., Ortolá MD, Castelló ML. Modelling osmotic dehydration of lemon slices using new sweeteners. Int J Food Sci Technol. 2015;50(9).

33. Rubio-Arraez S, Capella J V., Ortolá MD, Castelló ML. Modelling osmotic dehydration of lemon slices using new sweeteners. Int J Food Sci Technol (Internet). 2015 Sep 1 (cited 2023 Mar 1);50(9):2046–51. Available from: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ijfs.12859

34. Cichowska J, Żubernik J, Czyżewski J, Kowalska H, Witrowa-Rajchert D. Efficiency of osmotic dehydration of apples in polyols solutions. Molecules. 2018;23(2).

35. Wahyuningsih S, Wulandari L, Wartono MW, Munawaroh H, Ramelan AH. The Effect of pH and Color Stability of Anthocyanin on Food Colorant. IOP Conf Ser Mater Sci Eng (Internet). 2017 Apr 1 (cited 2021 Dec 20);193(1):012047. Available from: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/193/1/012047

36. Etxabide A, Kilmartin PA, Maté JI. Color stability and pH-indicator ability of curcumin, anthocyanin and betanin containing colorants under different storage conditions for intelligent packaging development. Food Control. 2021;121.

37. Azwanida NN, Hui MS, Afandi A, Mohamed S, K ZA, Ayob A, et al. Color Stability Evaluation of Pigment Extracted from Hylocereus polyrhizus, Clitorea ternatae and Pandanus amaryllfolius as Cosmetic Colorants and Premarket Survey on Customer Acceptance on Natural Cosmetic Product. Journal of Tropical Resources and Sustainable Science (JTRSS). 2015;3(1).

38. Pereira MTL, de Oliveira Farias VS, da Silva Júnior AF, do Nascimento Lima AR, Vieira VB, de Medeiros RA, et al. Analysis of drying of melon peels using numerical solution of the diffusion equation. J Food Process Eng. 2023;46(3).

39. Majdi H, Esfahani JA, Mohebbi M. Optimization of convective drying by response surface methodology. Comput Electron Agric. 2019;156.

40. Martínez-Cañas MA, Calvo P, Rodríguez MJ, Sánchez FM, Plaza MA, González-Gómez D. Optimization of osmotic dehydration of cherry by response surface methodology. In: Acta Horticulturae. 2017.

41. González Pacheco JI, Maldonado MB. Diffusion in biological media: a comprehensive numerical-analytical study via surface analysis and diffusivities calculation. Sci Rep (Internet). 2024 Jul 17 (cited 2024 Jul 17);14(1):1–18. Available from: https://www.nature.com/articles/s41598-024-67348-4

42. González Pacheco JI, Maldonado MB. Mass transfer phenomena for erythrosine and red gardenia dyes in cherries (Prunus avium): influence of temperature on effective diffusion coefficients. 11th World Congress of Chemical Engineering (Internet). 2023 Jun (cited 2025 Mar 18); Available from: https://www.researchgate.net/publication/379332174_Mass_transfer_phenomena_for_erythrosine_and_red_gardenia_dyes_in_cherries_Prunus_avium_influence_of_temperature_on_effective_diffusion_coefficients

43. Bird RB, Stewart WE, Lightfoot EN. Transport Phenomena. In: Transport Phenomena. 2nd ed. John Wiley & Sons; 2006.

44. Hahn DW, Özişik MN. Heat Conduction: Third Edition (Internet). Heat Conduction: Third Edition. John Wiley and Sons; 2012 (cited 2023 Dec 14). Available from: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118411285

45. Crank J. The mathematics of diffusion. Oxford university press; 1979.

46. da Silva WP, Precker JW, e Silva CMDPS, e Silva DDPS. Determination of the effective diffusivity via minimization of the objective function by scanning: Application to drying of cowpea. J Food Eng. 2009;95(2).

47. da Silva WP, Nunes JS, Gomes JP, de Araújo AC, e Silva CMDPS. Description of jambolan (Syzygium cumini (L.)) anthocyanin extraction kinetics at different stirring frequencies of the medium using diffusion models. Heat and Mass Transfer/Waerme- und Stoffuebertragung. 2018;54(11).

48. Kian-Pour N. Impact of Microwave-Starch-Blanching on the Drying Kinetics, Transport and Thermophysical Properties of Green Almond. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 2023;13(1).

49. Kian-Pour N. Effect of Biopolymer Dip-Coating Pretreatments as a Non-Thermal Green Technology on Physicochemical Characteristics, Drying, and Rehydration Kinetics of Santa Maria Pears. Foods. 2023;12(13).

50. Kian-Pour N, Karatas S. Impact of different geometric shapes on drying kinetics and textural characteristics of apples at temperatures above 100 °C. Heat and Mass Transfer/Waerme- und Stoffuebertragung. 2019;55(12).

51. Giannakourou MC, Lazou AE, Dermesonlouoglou EK. Optimization of osmotic dehydration of tomatoes in solutions of non-conventional sweeteners by response surface methodology and desirability approach. Foods. 2020;9(10).

52. Swe Oo K, Than SS. Osmotic dehydration of mango slices in sugar solution using response surface methodology. EPH - International Journal of Applied Science. 2019;5(3).

53. Bchir B, Sebii H, Danthine S, Blecker C, Besbes S, Attia H, et al. Efficiency of osmotic dehydration of pomegranate seeds in polyols solutions using response surface methodology. Horticulturae. 2021;7(9).

54. Zhelyazkov S, Aleksandrov S, Ruskova M, Petrova T, Gotcheva V, Penov N. Optimization of osmotic dehydration parameters for sweet cherries (Prunus avium) using response surface methodology. Bulgarian Chemical Communications. 2020;52(4).

55. Haque MR, Hosain MM, Kamal MM, Islam MR, Mondal SC. Optimization of osmotic dehydration parameters of banana under pulsed microwave conditions by response surface methodology. Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences. 2020;9(6).

56. Meena N, Prince MV, Sreeja R. Optimization of process parameters for ultrasound-assisted osmotic dehydration of pineapple slices using response surface methodology. J Food Process Preserv. 2022 Sep 1;46(9).

57. Salehi F, Cheraghi R, Rasouli M. Mass transfer analysis and kinetic modeling of ultrasound-assisted osmotic dehydration of kiwifruit slices. Sci Rep. 2023;13(1).

58. Salehi F, Cheraghi R, Rasouli M. Mass transfer kinetics (soluble solids gain and water loss) of ultrasound-assisted osmotic dehydration of apple slices. Sci Rep. 2022;12(1).

59. Pezo L, Lončar B, Filipovi´cfilipovi´c V, Šovljanski O, Traviči´traviči´c V, Filipovi´c JF, et al. Osmotic Dehydration Model for Sweet Potato Varieties in Sugar Beet Molasses Using the Peleg Model and Fitting Absorption Data Using the Guggenheim–Anderson–de Boer Model. Foods 2024, Vol 13, Page 1658 (Internet). 2024 May 25 (cited 2024 Jun 5);13(11):1658. Available from: https://www.mdpi.com/2304-8158/13/11/1658/htm

60. Khoualdia B, Ben-Ali S, Hannachi A. Pomegranate arils osmotic dehydration: effect of pre-drying on mass transfer. J Food Sci Technol. 2020;57(6).

SUBSTITUIÇÃO DE NITRITO E NITRATO DE SÓDIO EM PRODUTOS CÁRNEOS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DOS EFEITOS FÍSICO-QUÍMICOS E SENSORIAIS

SUBSTITUTION OF SODIUM NITRITE AND NITRATE IN MEAT PRODUCTS: A SYSTEMATIC REVIEW OF PHYSICOCHEMICAL AND SENSORY EFFECTS

DOI: 10.65747/conali2025v3c20

Karina Barbosa dos Santos [1]; Raimundo Bernadino Filho[1]; José Matheus Gomes Tavares[2] ; Larissa Mylena Mendes Dias [3]; Romário Oliveira de Andrade[4]

Artur Xavier Mesquita de Queiroga[5]

[1] Estudante do Curso de Engenharia de Alimentos – UFAPE; E-mail: barbosa.s00@outlook.com

[2] Docente/pesquisador do Departamento de Engenharia de Alimentos – UFAPE

[3]Engenheiro de Alimentos – UFAPE

[4]Docente na Universidade Estadual da Paraíba - UEPB

[5]Docente no Instituto Federal do Mato Grosso - IFMT.

Resumo: Os produtos cárneos curados são comumente vistos como prejudiciais à saúde pelos consumidores devido ao seu alto teor de gordura, sódio e aditivos sintéticos. Em sua composição há adição de sais de cura, conhecidos popularmente como nitrato e nitrito de sódio. Os sais de cura podem ser definidos como aditivos alimentares, aplicados em produtos cárneos para proporcionar efeitos na cor, sabor e odor, bem como para manter a qualidade microbiológica do produto. Estudos explorando potenciais substituições e reduções na aplicabilidade desses sais em produtos cárneos curados têm sido desenvolvidos, devido a pesquisas que indicam o potencial efeito carcinogênico em humanos resultante da ingestão desses produtos ao longo prazo. Diante disso, nesta pesquisa objetivou-se, através de uma revisão sistemática, investigar possíveis substitutos de nitrito e nitrato de sódio em produtos cárneos e seus efeitos físico-químicos e sensoriais na qualidade do produto. Na revisão sistemática pesquisou-se publicações indexadas nas bases de dados *Scientific Electronic Library Online (*SciELO), *Publisher Mediline* (PubMed), *US National Library of Medicine* (Medline) e *Google Scholar* entre os anos de 2013 a 2024 nos idiomas português, inglês e espanhol. Os resultados apontaram para várias alternativas ao nitrito tradicional na produção de carne curada, destacando o uso de fontes vegetais ricas em nitrato, como aipo, beterraba, rúcula, salsa, entre outros. Diferentes abordagens foram exploradas, incluindo a fermentação de espinafre para produção de nitrito pré-convertido, a adição de pós de vegetais em linguiças fermentadas, e a substituição total ou parcial do nitrito por extratos de plantas. Os resultados indicaram ainda que essas alternativas foram capazes de fornecer cor, sabor e segurança microbiológica aos produtos cárneos, além de contribuir para a estabilidade oxidativa e inibição do crescimento microbiano. Conclui-se que as fontes vegetais emergiram como promissoras substitutas aos aditivos sintéticos na produção de carne curada, oferecendo uma abordagem mais natural e sustentável para a indústria alimentícia.

Palavras–chave: cura de carnes; conservantes naturais; fontes vegetais; estabilidade oxidativa; extratos de plantas.

Abstract: Cured meat products are commonly perceived by consumers as harmful to health due to their high content of fat, sodium, and synthetic additives. Their composition includes the addition of curing salts, popularly known as sodium nitrate and nitrite. Curing salts can be defined as food additives applied to meat products to provide effects on color, flavor, and odor, as well as to preserve the microbiological quality of the product. Studies exploring potential substitutions and reductions in the applicability of these salts in cured meat products have been developed, due to research indicating the potential carcinogenic effect in humans resulting from the long-term ingestion of these products. Therefore, this study aimed, through a systematic review, to investigate possible substitutes for sodium nitrite and nitrate in meat products and their physicochemical and sensory effects on product quality. The systematic review included publications indexed in the Scientific Electronic Library Online (SciELO), Publisher Medline (PubMed), US National Library of Medicine (Medline), and Google Scholar databases between the years 2013 and 2024, in Portuguese, English, and Spanish. The results pointed to several alternatives to traditional nitrite in cured meat production, highlighting the use of nitrate-rich plant sources such as celery, beetroot, arugula, parsley, among others. Different approaches were explored, including the fermentation of spinach for the production of pre-converted nitrite, the addition of vegetable powders in fermented sausages, and the total or partial substitution of nitrite with plant extracts. The results also indicated that these alternatives were able to provide color, flavor, and microbiological safety to meat products, in addition to contributing to oxidative stability and inhibition of microbial growth. It is concluded that plant sources have emerged as promising substitutes for synthetic additives in cured meat production, offering a more natural and sustainable approach for the food industry.

Keywords: meat curing; natural preservatives; plant sources; oxidative stability; plant extracts.

INTRODUÇÃO

Os derivados cárneos constituem uma gama de alimentos processados, tais como linguiça, mortadela, salame, presunto e apresuntado, oriundos do processamento de carne na indústria alimentícia. Esse processo inicia-se com a obtenção da matéria-prima cárnea, proveniente do manejo pré-abate e do abate dos animais, seguido pelo armazenamento e encaminhamento da carne para a fabricação dos derivados (1).

Para garantir a vida útil e a segurança microbiológica desses produtos cárneos, a indústria emprega métodos como refrigeração em produtos frescos, cocção em produtos cozidos e processos biológicos, como a fermentação. Contudo, a aplicação isolada desses métodos pode não ser suficiente para a conservação dos produtos devido à natureza altamente perecível da matéria cárnea, levando à necessidade de combinação de processos para ampliar a durabilidade dos produtos (2).

Dentre os processos utilizados destaca-se a salga e a cura, métodos ancestrais ainda adotados atualmente. Esses processos envolvem a incorporação de sais de sódio, como cloreto de sódio e sais de cura, como o nitrato de sódio e o nitrito de sódio, como aditivos alimentares. Essas substâncias desempenham um papel vital, não apenas na extensão da vida útil dos produtos cárneos, mas também na modificação de suas propriedades sensoriais e funcionais, contribuindo para sua aceitabilidade pelo consumidor (3).

O nitrito de sódio, aditivo alimentar fundamental no processo de cura dos produtos cárneos, não apenas atua na conservação, mas também exerce influência significativa nas características sensoriais desses produtos, como sabor, aroma e coloração. Tal composto pode ser adicionado diretamente nas formulações ou gerado a partir do nitrato de sódio por meio de reações de redução mediadas pela microbiota presente na carne. Essas práticas têm impacto direto na composição final e nas características organolépticas dos produtos cárneos, influenciando diretamente sua qualidade e aceitação pelo consumidor (4).

No entanto, apesar das vantagens proporcionadas pelo uso desses aditivos, persiste uma polêmica enraizada desde os anos 1970 sobre os nitratos e nitritos, sugerindo que podem acarretar danos à saúde ao potencialmente reagirem com aminas secundárias das proteínas, resultando na formação de nitrosaminas cancerígenas em certas condições (5).

Esse debate levanta a necessidade premente de estabelecer medidas preventivas substanciais para fortalecer o controle de qualidade e a vigilância sanitária dos alimentos, visando minimizar os potenciais efeitos tóxicos dos aditivos alimentares, especialmente em grupos mais suscetíveis, como crianças, idosos, gestantes e indivíduos enfermos. Isso ressalta a relevância de estratégias alternativas, como a redução do teor de sódio e a busca por substitutos do nitrito de sódio, na busca por produtos cárneos mais saudáveis na indústria alimentícia (6).

A fim de alternativas aos nitritos e nitratos, a imposição de limites máximos para esses aditivos em produtos cárneos é uma medida estabelecida pela legislação brasileira com limites máximos de 150 e 300 $mg.kg^{-1}$, respectivamente. Além disso, diante das controvérsias sobre a cura com nitrito em carnes, a cura natural ou orgânica tem sido cada vez mais adotada, substituindo o uso direto de nitrito e nitrato (4).

Outras estratégias visam à substituição dos nitratos de sódio e nitritos de sódio por alternativas como o "sal de ervas", uma combinação de alecrim, manjericão, orégano e sal comum, mostrou-se uma opção benéfica para controlar a pressão arterial (7).

Aditivos que disfarçam o sabor amargo ou intensificam a sensação salgada, como o glutamato monossódico e o extrato de levedura, são alternativas para reduzir o teor de sódio nos alimentos sem comprometer a percepção de salinidade. Tratando-se de fontes vegetais de nitrato, o extrato de aipo ganha destaque por sua ausência de pigmentação e sabor suave, tornando-se compatível com produtos cárneos. Amplamente utilizado, o aipo tem sido uma das opções mais empregadas como fonte de nitratos em produtos cárneos curados (8).

Diante disso, nesta pesquisa objetivou-se, através de uma revisão sistemática, investigar possíveis substitutos de nitrito e nitrato de sódio em produtos cárneos e seus efeitos físico-químicos e sensoriais na qualidade do produto.

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia empregada neste estudo foi de uma revisão sistemática de literatura que consiste num método de pesquisa que busca reunir, analisar e sintetizar de forma sistemática todas as evidências disponíveis sobre uma questão específica, utilizando critérios explícitos e metodologia rigorosa. Ela é estruturada em etapas bem definidas, incluindo o desenvolvimento de um protocolo de pesquisa detalhado, a busca extensiva e criteriosa por estudos relevantes em diversas fontes, a seleção de estudos de acordo com critérios pré-estabelecidos, a avaliação da qualidade dos estudos incluídos e, por fim, a análise dos dados para oferecer conclusões baseadas nas evidências disponíveis. Esse tipo de revisão visa oferecer uma visão abrangente e objetiva sobre um determinado tema ou pergunta de pesquisa.

Para a realização do estudo, as publicações utilizadas foram pesquisadas nas bases de dados *Scientific Electronic Library Online (*SciELO), *Publisher Mediline* (PubMed), *US National Library of Medicine* (Medline), *Google Scholar*, além de outras fontes relevantes. Diante disto, as bases selecionadas fazem parte do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e permitem o acesso facilitado aos documentos, viabilizando a consulta aos materiais através dos serviços disponibilizados pela instituição de ensino afiliada à Comunidade Acadêmica Federada (CAFe).

Para cada base de dados, implementou-se um método de busca focalizado em termos-chave pertinentes ao tema. As palavras-chave adotadas foram: 'Produtos cárneos curados', 'Aditivos', 'Nitritos', 'Nitrato', 'Extratos vegetais' e 'Sais de cura' e seus correspondentes em inglês e espanhol, visando identificar os documentos relacionados. Adicionalmente, os operadores booleanos 'AND' e 'OR' foram empregados de acordo com os requisitos específicos de cada mecanismo de busca detalhado no Quadro 1.

Quadro 1 - Mecanismo de busca nas bases de dados.

Bases de Dados	Mecanismo de busca
SciELO	*Cured meat products OR Additives*
PubMed	*Nitrites OR Nitrate OR Curing salts* *Nitrites AND Nitrate AND Curing salts* *Additives OR Nitrites OR Nitrate OR Plant extracts* *Additives AND Nitrites AND Nitrate AND Plant extracts*
Medline	*Cured meat products OR Aditivos* *Cured meat products AND Aditivos* *Additives OR Nitrites OR Nitrate OR Plant extracts* *Additives AND Nitrites AND Nitrate AND Plant extracts*
Google Scholar	*Cured meat products OR Aditivos* *Cured meat products AND Aditivos* *Additives OR Nitrites OR Nitrate OR Plant extracts* *Additives AND Nitrites AND Nitrate AND Plant extracts*

Fonte: Autores, 2024

Foram incluídos estudos em produtos cárneos (abrangendo produtos cárneos processados ou não, como presuntos, salsichas, salames, entre outros, considerando a substituição de nitrato e nitrito); estudos de substituição de nitrato e nitrito que exploram estratégias de substituição parcial ou total desses aditivos por alternativas, como extratos vegetais, outros compostos ou métodos de processamento; estudos que abordam as mudanças físico-químicas resultantes da substituição, como alterações na cor, pH, conteúdo de compostos nitrogenados, entre outros parâmetros relevantes; pesquisas que investigam e relatam a avaliação sensorial dos produtos substituídos, considerando sabor, aroma, textura, aceitabilidade sensorial, preferências do consumidor, entre outros aspectos sensoriais e artigos científicos revisados por pares, dissertações, teses ou revisões sistemáticas recentes que atendam aos critérios específicos de busca e relevância para o tema.

Foram excluídos documentos que não abordaram especificamente a substituição de nitrato e nitrito em produtos cárneos ou que não estivessem ligados a principal finalidade da pesquisa;

artigos que focaram apenas em aspectos biológicos, fisiológicos ou médicos da ingestão de nitrato e nitrito, sem considerar os efeitos físico-químicos ou sensoriais nos produtos cárneos; artigos em Idiomas diferentes do inglês, português ou espanhol, dificultando a interpretação e a compreensão dos resultados; publicações com estudos não controlados, amostras pequenas ou falta de detalhamento sobre a metodologia utilizada e estudos muito antigos, anteriores a 2013, que possam não refletir as práticas atuais de substituição de nitrato e nitrito em produtos cárneos, a menos que fossem relevantes para a base histórica do tema.

A análise foi conduzida por meio de uma revisão bibliométrica na base de dados da CAPES, com busca nos títulos, resumos e palavras-chave. Em seguida, os dados foram refinados conforme a metodologia proposta e os critérios de inclusão resultando em 12 publicações indexadas entre os anos de 2013 a 2024, as quais foram discutidas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As principais informações extraídas dos 12 artigos escolhidos para a revisão sistemática foram resumidas no Quadro 2. Nele, são apresentados o autor e ano de publicação do estudo, o produto cárneo abordado no estudo, o substituto de nitrito e nitrato, as principais características observadas e os principais resultados das pesquisas.

Neste trabalho destaca-se a utilização de vegetais em pó e na forma de extratos como substitutos para o uso de nitritos e nitratos de sódio na elaboração das formulações de produtos cárneos (9). Entre os produtos estudados estão o extratos de espinafre (10,11); pó de extrato de salsa (12); pó de beterraba (8,13,14); nabo (15); *Alliumcepa var. aggregatum, Coriandrum sativum* e *Allium sativum L.* (16); *Lactobacillus fermentum RC4* e *Lactobacillus plantarum B6*, beterraba vermelha, corante Monascus e nisina (13); Manjericão Rubra, Tomilho, Limão, Orégãos vulgar e Sálvia Ananás (17); aipo (18,19). Essas alternativas mostram relevante potencial de substituição ao nitrito em produtos cárneos, com resultados promissores em termos de cor, sabor e segurança microbiológica.

Quadro 2 - Principais informações dos artigos selecionados

Autor/Ano	Produto cárneo	Substituto de nitrito e nitrato	Características	Principais resultados
Kim et al. 2017.	Carnes curadas cruas	Substituição por extratos de espinafre fermentado	As contagens bacterianas viáveis totais em carnes curadas adicionadas com extrato de espinafre fermentado variaram de 0,34-1,01 Log UFC/g. *E. coli* e bactérias coliformes não foram observadas em nenhuma das carnes curadas tratadas com extratos de espinafre fermentado ou nitrito.	Os resultados deste estudo indicam que o espinafre fermentado pode ser uma fonte viável de nitrito na preparação de carne curada, proporcionando benefícios como estabilidade oxidativa e inibição do crescimento microbiano.
Riel et al. 2017.	Linguiças tipo mortadela	Substituição por pó de extrato de salsa	Concentrações de 4,29 g de extrato de salsa por kg de carne de linguiça (contendo 120 ppm de nitrito) pareceram ser comparáveis ao uso tradicional de sal de cura em linguiças tipo mortadela quanto à cor vermelha durante a maioria do tempo de armazenamento.	A análise sensorial mostrou que a aceitação do consumidor para produtos produzidos com maiores concentrações de extrato de salsa foi satisfatória e que esses produtos podem ser comercializáveis.
Sucu;Turp, 2018.	Linguiça seca fermentada de carne bovina	Substituição por pó de beterraba	A inclusão de pó de beterraba resultou na proteção da cor vermelha desejada durante o armazenamento.	As características sensoriais das linguiças contendo PB foram comparáveis às das amostras controle.
Carvajal-Macías et al. 2019.	Salsichas	Substituição dos nitritos sintéticos por uma fonte natural como o nabo	A maior concentração de nitritos foi encontrada na amostra padrão, elaborada com nitritos sintéticos, enquanto as amostras com extrato de nabo e nabo desidratado, fontes naturais de nitritos, mostraram valores inferiores.	Com a concentração de nitritos de fontes naturais utilizadas, foi possível obter um produto com tonalidade de vermelho, característico de produtos cárneos.

Chanshotikul; Hemung, 2020.	Linguiças fermentadas	Substituição por 3 tipos de pó de vegetais indígenas (*Alliumcepa var. aggregatum*, AA/*Coriandrum sativum*, CS/*Allium sativum L.*, AS)	Os valores de vermelhidão das amostras com pós vegetais foram superiores aos do controle (sem adição de nitrito), o que indica cura natural.	O pó de ***Allium sativum L.*** pode ter o potencial de se tornar um agente de cura natural na produção de salsichas fermentadas.
Huang et al. 2020.	Carne curada	Substituição de nitrito por *Lactobacillus fermentum* RC4 e *Lactobacillus plantarum* B6 como iniciadores, beterraba vermelha e corante Monascus como agentes colorantes, e nisina como antibiótico.	A carne curada sem adição de nitrito foi produzida pela adição de *Lactobacillus fermentum* RC4 e *Lactobacillus plantarum* B6, iniciadores, beterraba vermelha e corante *Monascus* apresentam degradação eficaz de nitrito e atividade antibacteriana.	O estudo apresentou uma abordagem inovadora para a produção de carne curada sem adição de nitrito, resultando em um produto de alta qualidade, seguro e com excelente aceitação sensorial.
Ré, 2020	Aparas de carne de suíno	Substituição por infusões de quatro ervas aromáticas (Manjericão Rubra, Tomilho, Limão, Orégãos vulgar e Sálvia Ananás), como fonte natural de nitrato	As infusões de manjericão rubra e sálvia ananás apresentaram um maior conteúdo de nitrato, enquanto o tomilho limão mostrou maior conteúdo de nitritos.	As formulações com infusões não influenciaram significativamente as contagens microbianas, mas houve variações na cor e no aroma dos produtos, com a formulação de sálvia ananás destacando-se por sua cor rosada e por não apresentar aroma de ervas, indicando potencial para futuras formulações.
Siqueira, 2020	Linguiça frescal	Pó de aipo em substituição ao nitrito e extrato de alecrim como antioxidante	A substituição de conservantes e antioxidantes sintéticos por extratos naturais de aipo e alecrim na produção de linguiça frescal pode mitigar os riscos à saúde associados aos aditivos artificiais.	O estudo mostrou que a amostra com aipo e extrato de alecrim foi mais estável contra contaminação microbiológica, com maior nitrito residual que a amostra com nitrito de sódio. Ambas as amostras também preveniram a oxidação durante o armazenamento, destacando a viabilidade de substituir aditivos sintéticos por ingredientes naturais em linguiças frescais.

Devèze, 2021	*Canned Corned Beef* (CCB) elaborado com nitrito de sódio sintético	CCB elaborado com extrato de aipo	A comparação entre Canned Corned Beef com nitrito de sódio e extrato de aipo como agentes de cura mostrou que ambos atenderam aos padrões legais de composição. A cor característica e a estabilidade contra rancidez foram semelhantes em ambos.	O extrato de aipo pode ser uma alternativa viável e aceitável para substituir o nitrito de sódio na produção de *Canned Corned Beef*.
Ferreira et al. 2021	Salame tipo italiano	Pós de beterraba (*Beta vulgaris L.*) e rúcula (*Eruca sativa L*)	Substituição do nitrito de sódio comercial por pós de beterraba e rúcula na formulação de salame tipo italiano, visando reduzir o uso de aditivos sintéticos associados à formação de compostos potencialmente cancerígenos.	Tratamentos com pós de beterraba, rúcula ou uma combinação de ambos apresentaram valores de nitrito residual significativamente mais baixos, indicando a eficácia dessas fontes alternativas de nitrito na produção de salame italiano.
Chávez, 2022.	Salsichas	Substituição por extrato de espinafre (*Spinacia oleracea*)	Os tratamentos com diferentes porcentagens de extrato de espinafre e nitrito de sódio mostraram diferenças significativas na concentração residual de nitrito	Todos os tratamentos atenderam aos padrões microbiológicos estabelecidos, indicando que a substituição é viável e resulta em um produto adequado para o consumo.
Silva, 2023.	Salsichas	Substituição por extratos vegetais	As plantas têm sido consideradas como alternativas para a substituição de nitritos e nitratos de sódio devido aos seus níveis elevados de nitrato	O uso de fontes vegetais, como aipo, tomate em pasta, urucum em pó e extratos de especiarias, também tem sido investigado como alternativas ao nitrito em produtos cárneos, com resultados promissores em termos de cor, sabor e segurança microbiológica

Fonte: Autores, 2024

A busca por alternativas ao nitrito tradicional na produção de carne curada tem crescido na indústria alimentícia, visando diminuir a dependência de aditivos sintéticos. De acordo com Silva (9) as plantas têm sido consideradas como uma dessas alternativas devido aos seus níveis elevados de nitrato, que desempenham um papel como nutrientes. Estudos têm indicado variações nos teores de nitrato em diferentes partes das plantas, como folhas, caules e raízes, sendo que as partes florais geralmente possuem menor quantidade de nitrato. Fatores como umidade, tipo de solo, tamanho da planta, espécie, temperatura e tempo de armazenamento influenciam os níveis de nitrato nos vegetais, sendo que espinafre, salsa, repolho e nabo são exemplos de vegetais com altos teores de nitrato. No entanto, métodos de preparo, como cozimento, podem reduzir esses teores em até 75%. A Tabela 1 apresenta os níveis de acumulação de nitrato em alguns vegetais.

Tabela 1 – Acúmulo de nitrato em vegetais

Teor de nitrato expresso em mg/kg de peso fresco	**Tipo de Vegetal**
>2500	Agrião, alface, rúcula, espinafre, aipo.
de 1000 a <2500	Salsa, repolho chinês, endívia, alho-poró.
de 500 a <1000	Couve lombarda, repolho, nabo.
de 200 a <500	Pepino, abóbora, brócolis, cenoura.
<200	Tomate, cebola, berinjela, cogumelo, aspargo, batata.

Fonte: Silva (2023)

Segundo o autor, a forma como os vegetais são armazenados pode influenciar os níveis de nitrato, sendo que condições inadequadas, como a ausência de refrigeração prolongada, podem levar ao aumento do nitrito devido à ação bacteriana que converte nitrato em nitrito. Por outro lado, condições como falta de luz e altas temperaturas durante o cultivo podem resultar na inativação da enzima nitrato redutase, levando ao acúmulo de nitrato nos vegetais. Fontes vegetais, como o aipo em pó, têm sido exploradas como alternativas ao nitrito em produtos cárneos processados devido ao seu teor significativo de nitrato. O uso de outras fontes vegetais, como tomate em pasta, urucum em pó e extratos de especiarias, também tem sido investigado como importantes alternativas ao nitrito em produtos cárneos, favorecendo aspectos como cor, sabor e segurança microbiológica (9).

O estudo de Kim et al. (10) investigou a viabilidade de utilizar espinafre fermentado como fonte de nitrito pré-convertido. Um aspecto importante destacado no estudo é o processo de preparação do nitrito a partir do espinafre. O espinafre comercial foi submetido à liofilização e posterior fermentação com uma cultura de *Lactobacillus farciminis* contendo uma enzima redutora de nitrato ativa. Esse método resultou na obtenção de uma fonte de nitrito pré-convertido, com características adequadas para a cura de carne, como pH ácido e conteúdo significativo de nitrito. Ao realizar a cura da carne com a adição dessa fonte de nitrito, observou-se uma redução do pH nos grupos tratados com o espinafre fermentado em comparação com os grupos controle, indicando a eficácia do processo de fermentação na acidificação da carne. Além disso, foram observadas alterações na cor da carne curada, com aumento na luminosidade e na vermelhidão e redução na tonalidade amarela, atribuídas à ação do nitrito na formação de pigmentos estáveis de mioglobina.

Outro ponto de interesse apontado pelo autor foi a avaliação da estabilidade oxidativa da carne curada, medida pelos valores de TBARS (substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico). Os resultados mostraram que a carne curada com o espinafre fermentado apresentou valores significativamente menores de TBARS em comparação com o controle positivo adicionado de nitrito sintético. Isso sugere que o nitrito derivado do espinafre fermentado possui atividade antioxidante, contribuindo para a estabilidade oxidativa da carne curada. Além disso, foi observada uma redução significativa na contagem total de microrganismos na carne curada tratada com o espinafre fermentado, indicando um efeito inibitório sobre o crescimento microbiano. Isso pode ser atribuído à presença de ácido láctico e outros metabólitos fermentativos produzidos durante o processo de fermentação. No entanto, é importante notar que os níveis de nitrito residual na carne curada tratada com o espinafre fermentado foram mais elevados em comparação com os controles, sugerindo uma menor eficiência na conversão do nitrito durante o processo de cura. Isso pode ser uma consideração importante em termos de segurança alimentar e conformidade com os regulamentos de aditivos alimentares (10).

Outro importante estudo foi realizado por Riel et al. (12) que investigou a produção de linguiças tipo mortadela, fabricadas com pó de extrato de salsa/kg. As variantes incluíram diferentes concentrações de extrato de salsa, além de linguiças tradicionalmente curadas com nitrito e linguiças não curadas, que serviram como controles. O extrato de salsa foi obtido a partir de talos e a extração foi realizada a 90 °C por 4 horas, seguida de compressão a vácuo e secagem. O extrato resultante foi então adicionado às linguiças, junto com outros ingredientes como sal, fosfato dissódico, ácido ascórbico, açúcar e gelo, conforme a formulação padrão. Além disso, uma cultura comercial de bactérias redutoras de nitrato foi adicionada às variantes com extrato de salsa para auxiliar na redução do nitrito.

Após a produção, as linguiças foram embaladas a vácuo e armazenadas a 7 ± 0,2 °C, em condições semelhantes às praticadas no varejo. Durante 28 dias de estocagem, foram conduzidas análises microbiológicas, físico-químicas e sensoriais para avaliar a qualidade e a segurança dos produtos. Os resultados demonstraram que a adição de 4,29 g de extrato de salsa por quilograma de carne apresentou desempenho equivalente ao uso convencional de sais de cura em linguiças tipo mortadela, preservando a cor vermelha característica ao longo do período de armazenamento (12).

Carvajal-Macías et al. (15) avaliaram o desenvolvimento da cor característica de salsichas através da substituição dos nitritos sintéticos por uma fonte natural como o nabo. De acordo com o método utilizado no estudo, a Tabela 2 lista os resultados obtidos para o teor de nitrito presente nas três amostras de salsicha avaliadas:

Tabela 2 - Teor médio de nitrito nas três amostras de salsicha

Amostra	Concentração (ppm)
Padrão	84,87
Extrato	9,80
Desidratado	11,81

Fonte: Carvajal-Macías et al. (2019)

De acordo com Carvajal-Macías et al. (15) os resultados da determinação de nitritos em salsichas mostraram que a maior concentração de nitritos foi encontrada na

amostra padrão, elaborada com nitritos sintéticos, enquanto as amostras com extrato de nabo e nabo desidratado, fontes naturais de nitritos, mostraram valores inferiores. Isso sugere que a transformação de nitratos em nitritos pode ser afetada pela atividade bacteriana na carne, influenciando o desenvolvimento da cor. A análise de cor mostrou ainda diferenças no parâmetro a* (de verde para vermelho), relacionado ao desenvolvimento da cor vermelha em produtos cárneos, indicando a importância da concentração de nitritos naturais para obter o tom desejado. Esses resultados destacam a relevância do uso de fontes naturais de nitritos e a substituição de ingredientes para modificar as características de textura e cor das salsichas.

Um estudo semelhante foi realizado por Chanshotikul e Hemung (16) que avaliaram três tipos de pó de vegetais (*Alliumcepa var. aggregatum*, AA/ *Coriandrum sativum*, CS/ *Allium sativum L.,* AS) como substitutos ao nitrito em amostras de linguiças fermentadas. Os resultados deste estudo indicaram um aumento na vermelhidão das amostras, bem como a detecção de resíduos de nitrito nos produtos. A adição de pó de folha de alho mostrou-se capaz de inibir a contagem total de bactérias, mas também de promover o crescimento de bactérias láticas. Com base neste estudo, o pó de folha de alho mostrou o maior potencial para se tornar um agente de cura natural para linguiças fermentadas. A luz (valor L) das amostras de linguiça também foi semelhante, independentemente do tipo de vegetal usado, enquanto a vermelhidão aumentou em comparação com o controle. Isso sugere que os pós de vegetais forneceram desenvolvimento de cor como parte do processo de cura natural. A figura 1 mostra o aspecto das linguiças fermentadas sem nitrito.

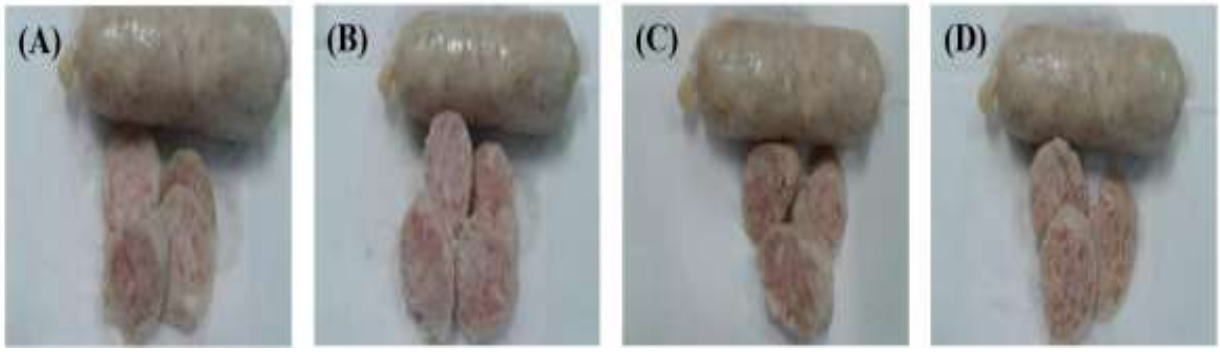


Figura 1 - Aspecto das linguiças fermentadas

(A) Sem nitrito; (B) com *Allium sativum L.*, AS; (C) com *Alliumcepa var. aggregatum*, AA; (D) com *Coriandrum sativum*, CS.
Fonte: Chanshotikul; Hemung (2020).

De acordo com Chanshotikul e Hemung (16) a contagem total de microrganismos foi reduzida com a adição de pó de folha de alho, indicando sua capacidade de inibir o crescimento microbiano e potencialmente estender a vida útil do produto. Além disso, a adição de pó de folha de alho resultou na maior contagem de bactérias lácticas, indicando uma promoção do crescimento dessas bactérias benéficas. A análise do conteúdo de nitrito revelou sua presença nas amostras com pós de vegetais, mesmo sem a adição de nitrito externo sugerindo que o nitrito presente nos vegetais pode ter sido convertido durante o processo de fermentação. No entanto, os níveis de nitrito foram considerados aceitáveis de acordo com o padrão do Codex.

O trabalho de Huang et al. (13) apresentou uma nova carne curada sem adição de nitrito e um método inovador para substituir o nitrito por *Lactobacillus fermentum* RC4 e *Lactobacillus plantarum* B6 como iniciadores, beterraba vermelha e corante *Monascus*[1] como agentes colorantes, e nisina como antibiótico. As tiras cruas foram preparadas para formar uma espécie de carne curada com tecnologia de processamento semelhante à do bacon chinês (não defumado). As amostras dos grupos de carne foram preparadas: um grupo experimental sem adição de nitrito (GE); um grupo controle ao qual apenas 3% de sal foi adicionado (CG-S); e um grupo controle ao qual tanto 3% de sal quanto 0,01% de NaNO2 foram adicionados (CG-N). A avaliação sensorial, juntamente com a determinação da contagem total de placas, substâncias voláteis de sabor e conteúdo de ácidos graxos livres (FFA) de todas as amostras, foi realizada após 20 dias.

Os resultados da pesquisa de Huang et al. (13) revelaram melhorias significativas na cor, segurança, período de armazenamento, propriedades sensoriais e sabor, alcançadas através da utilização de substitutos de nitrito contendo bactérias lácticas, pigmentos naturais e nisina. A cor da carne curada, crucialmente melhorada pelo nitrito, foi substituída com sucesso pela combinação de corante *Monascus* e beterraba, resultando em uma cor vermelha brilhante e uniforme tanto na superfície quanto no interior da carne curada. Além disso, a presença de L. fermentum RC4 e L. plantarum B6 ajudou a degradar o nitrito residual, garantindo que os níveis fossem significativamente inferiores aos encontrados nas amostras de controle. A adição de nisina e bactérias lácticas também desempenhou um papel fundamental na inibição de microrganismos patogênicos, tornando a carne curada segura para o consumo. A análise do perfil volátil revelou a presença de compostos característicos de sabor e aroma, enquanto a baixa acumulação de aminas biogênicas e a redução da oxidação lipídica contribuíram para a qualidade sensorial e a segurança do produto final.

Dois outros estudos também analisaram o uso da beterraba em substituição ao nitrito: a pesquisa de Sucu e Turp (8) e Ferreira et al. (14). Sucu e Turp (8) examinaram os efeitos da reformulação da linguiça de carne bovina fermentada a seco substituindo o nitrito por pó de beterraba (PB). O estudo experimental envolveu a produção de quatro grupos diferentes de linguiça fermentada com diferentes percentagens de nitrito de sódio e pó de beterraba (Figura 2) (A utilização de de pó de beterraba em vez de nitrito na linguiça afetou as características de qualidade deste produto reformulado dependendo da quantidade utilizada. Na figura 2 temos as imagens das superfícies internas das linguiças.

[1] As espécies de Monascus são cultivadas há séculos em países Asiáticos para produzir um corante vermelho, usado como um ingrediente alimentar, sendo a China e o Japão os países que mais desfrutam desses pigmentos naturais (20).

Figura 2 - Fotografias das superfícies internas das linguiças

BS1: 100 mg/kg de nitrito de sódio e 0,12% PB; BS2:50 mg/kg de nitrito de sódio e 0,24% PB e BS3: 0,35% PB.

Fonte: Sucu; Turp (2018)

Segundo Sucu e Turp (8) o valor de vermelhidão (a*) das amostras aumentou e foi bem protegido durante o armazenamento quando uma quantidade maior de pó de beterraba foi utilizada. No entanto, a oxidação foi maior em amostras que continham grandes quantidades de PB e baixo teor de nitrito/sem nitrito. A contagem de bactérias ácido lácticas foi maior em BS3 durante o armazenamento, o que pode estar relacionado ao pó de beterraba, que pode atuar como substrato para bactérias ácido lácticas. A composição proximal, o valor de pH e o perfil de textura das amostras não foram significativamente afetados pela inclusão de PB. As características sensoriais das linguiças contendo pó de beterraba foram comparáveis às das amostras controle.

Em relação ao estudo de Ferreira et al. (14) que investigou a substituição do nitrito de sódio comercial por pós de beterraba e rúcula na formulação de salame tipo italiano, aproveitando sua riqueza natural em nitrato, que, por meio da ação de culturas starter, é convertido em nitrito durante o processo de maturação. Os salames foram formulados com 150 ppm de nitrato, e os tratamentos foram C100 (nitrito comercial), B100 (pó de beterraba), R100 (pó de rúcula) e R50B50 (pós de beterraba e rúcula). Durante a maturação, que ocorreu até a perda de peso de 35%, foram analisados pH, atividade de água (aW), oxidação lipídica (TBARs), cor (L, a* e b*), pigmentos totais, pigmentos nitrosos, nitrato e nitrito residual.

Os resultados de Ferreira et al. (14) revelaram variações nos valores de pH de 5,93 a 5,83 no início e entre 4,35 e 4,67 no final da maturação, enquanto os valores de aW diminuíram gradualmente de 0,985 a 0,895. A análise de TBARs mostrou oscilações de 0,57 a 0,39 mg MDA/Kg ao longo do processo de maturação, com o tratamento R100 apresentando os menores valores. Além disso, os tratamentos C100 e R50B50 exibiram os menores valores de nitrito residual ao final da maturação (0,72 e 0,79 mg/Kg, respectivamente). Os valores de pigmentos totais apresentaram correlação positiva com os resultados de nitrato e pigmentos nitrosos, enquanto a perda de peso mostrou correlação negativa com pH, aW e b. Esses resultados destacam a eficácia das fontes de nitrito alternativas na produção de salame tipo italiano, sugerindo que a substituição do nitrito comercial por pós de beterraba, rúcula ou de uma mistura de ambos é viável e pode ser uma abordagem promissora para melhorar a segurança e a qualidade dos produtos cárneos.

Siqueira (18) e Devèze (19) investigaram o mesmo produto (*Apium graveolen*s) como substituto ao nitrito de sódio em produtos cárneos. Siqueira (18) desenvolveram e avaliaram o *shelf life* de uma linguiça tipo frescal com conservantes e antioxidantes naturais, armazenada sob refrigeração, no qual foi utilizado o aipo (*Apium graveolen*s) como substituto do nitrito e o alecrim (*Rosmarinus officinalis*) como adjuvante na prevenção à oxidação. Três diferentes amostras foram desenvolvidas para o estudo: uma com aipo em pó e extrato de alecrim (denominada LA), outra com nitrito de sódio e eritorbato de sódio (chamada LN), e uma terceira sem qualquer conservante (LC). Ao longo do período de 15 dias de armazenamento refrigerado, todas as amostras apresentaram valores de pH semelhantes. No entanto, a amostra LA demonstrou níveis mais elevados de nitrito residual em comparação com a LN, sugerindo uma potencial atividade antimicrobiana prolongada. Enquanto isso, observou-se um aumento na oxidação na amostra LC, enquanto as amostras LA e LN permaneceram estáveis, indicando a eficácia dos aditivos presentes em suas composições em evitar a deterioração oxidativa.

O estudo de Siqueira apontou que o uso de aipo e extrato de alecrim mostrou-se promissor na preservação da qualidade da linguiça frescal, evidenciado pela maior estabilidade contra contaminação microbiológica em comparação com a amostra contendo nitrito de sódio. A presença desses ingredientes naturais resultou em maiores níveis de nitrito residual, indicando uma potencial atividade antimicrobiana prolongada. Além disso, ambas as amostras, tanto a que utilizou aipo e extrato de alecrim quanto a que empregou nitrito de sódio, demonstraram eficácia na prevenção da oxidação, mantendo a qualidade ao longo do período de armazenamento refrigerado de 15 dias (18). Esses resultados reforçam a viabilidade e a segurança de substituir aditivos sintéticos por ingredientes naturais na produção de linguiças frescais, oferecendo uma alternativa mais saudável e sustentável para a indústria de alimentos.

Em relação à pesquisa de Devèze (19) caracterizou aspectos sensoriais, físicos e químicos do produto *Canned Corned Beef* (CCB) elaborado com extrato de aipo em substituição ao aditivo sintético nitrito de sódio. Foram realizados testes utilizando cinco formulações diferentessendo uma delas contendo nitrito de sódio e as outras quatro contendo extrato de aipo como agente de cura, com variações no teor de NaCl e no tipo de flavorizante. As análises químicas dos produtos foram conduzidas logo após a fabricação, enquanto as avaliações de cor e rancidez foram realizadas tanto imediatamente após a fabricação quanto após seis meses de armazenamento em temperatura ambiente. A análise sensorial, incluindo testes de diferença em relação ao controle e avaliação de aceitação, foi conduzida após seis meses de armazenamento em temperatura ambiente.

Os resultados de Devèze (19) revelaram que o uso do extrato de aipo influenciou a cor dos produtos, levando a um escurecimento imediato seguido de clarificação em algumas formulações ao longo do tempo de armazenamento. Quanto à estabilidade da cor avermelhada característica dos produtos curados, verificou-se uma tendência à diminuição com o tempo, especialmente em formulações com menor teor de. Em relação à análise de rancidez, tanto o nitrito de sódio quanto o extrato de aipo mostraram-se eficazes ao longo dos seis meses de armazenamento, com resultados semelhantes aos do controle. A análise sensorial indicou que todas as formulações foram igualmente aceitas, sugerindo que o extrato de aipo pode ser uma alternativa viável para a produção de *Canned Corned Beef* por cura natural, mantendo suas características organolépticas e garantindo a segurança do produto.

Ré (17) investigou a substituição de nitrito e nitrato de sódio por infusões de quatro ervas aromáticas (manjericão rubra, tomilho limão, orégãos vulgar e sálvia ananás), como fonte natural de nitrato, avaliando a microbiota tecnológica, características físico-químicas e sensoriais em um modelo cárneo refrigerado por quatro dias. Seis formulações foram testadas, com diferentes concentrações de nitrato de sódio por quilograma de produto cárneo, incluindo um controle (C) com 0 ppm e outros com diferentes tipos de ervas e concentrações. No modelo de produto cárneo, não foram observadas diferenças significativas nos teores de nitratos e nitritos ao longo do tempo, mas houve variações na cor dos produtos, especialmente em relação à luminosidade e tonalidade, dependendo da infusão de ervas utilizada.

.

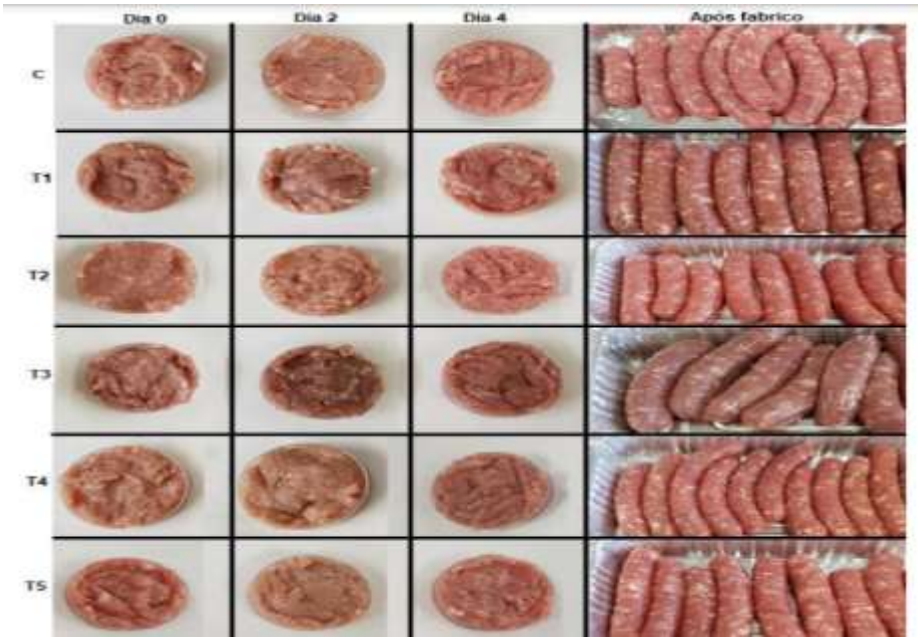


Figura 3 - Aparência da cor dos produtos com diferentes formulações ao longo do tempo de armazenamento a 4 ºC dos modelos cárneos crus

Condições: C (Controlo 0 ppm NaNO3); T1 (Manjericão rubra 70 ppm NaNO3); T2 (Tomilho limão 70 ppm NaNO3); T3 (Manjericão rubra 100 ppm NaNO3); T4 (Sálvia ananás 100 ppm NaNO3); T5 (Orégãos 100 ppm NaNO3).

Fonte: Ré (2020)

Os resultados de Ré (17) apontaram que os modelos cárneos formulados com sálvia ananás apresentaram uma cor mais rosada após 4 dias de armazenamento, semelhante aos modelos formulados com manjericão rubra, indicando o desenvolvimento do pigmento nitrosohemocromogénio, responsável pela cor rosa em produtos curados cozidos. Na avaliação sensorial, não foram observados aromas de ervas ou especiarias, exibindo sabores e odores neutros. Esses resultados sugerem que ingredientes naturais, como a infusão de sálvia ananás, podem ser alternativas aos aditivos químicos na cura de carne.

O estudo de Chávez (11) propôs uma alternativa ao nitrito de sódio em salsichas, substituindo-o pelo extrato de espinafre (*Spinacia oleracea*). Foram desenvolvidos quatro tratamentos com diferentes proporções de extrato de espinafre e nitrito de sódio. A avaliação sensorial não detectou diferenças significativas na preferência entre os tratamentos, sugerindo que a substituição do nitrito de sódio pelo extrato de espinafre é

viável, já que o produto resultante mantém características de qualidade aceitáveis, tornando-o adequado para o consumo. Além disso, a concentração residual de nitrito nos tratamentos estava dentro dos limites regulatórios estabelecidos, embora diferenças significativas tenham sido observadas entre certos tratamentos devido à adição de extrato de espinafre.

De acordo com Chávez (11) a combinação do extrato de espinafre com o processo de defumação mostrou-se eficaz na inibição do crescimento de microrganismos patogênicos, reforçando a viabilidade dessa alternativa. Em suma, o tratamento com 0.50% de extrato de espinafre e 50% de substituição de nitrito de sódio foi considerado adequado em termos sensoriais, microbiológicos e físico-químicos, proporcionando um produto seguro, embora doses maiores possam afetar sua vida útil e percepção sensorial.

CONCLUSÕES

A realização da revisão sistemática permitiu o levantamento de dados de maneira não tendenciosa sobre os substitutos dos sais de cura em produtos cárneos, com o intuito de tornar esses alimentos mais saudáveis e assim atender a demanda dos consumidores que estão mais preocupados com a saúde.

É notória a relevância das pesquisas científicas no desenvolvimento de pesquisas na área. Também se percebe que o uso de vegetais como ingredientes para substituição parcial e/ou total de nitrito e nitrato de sódio tem conseguido resultados satisfatórios sobre as propriedades físico-químicas e sensoriais dos produtos analisados.

A realização da avaliação sensorial mostrou-se crucial para mostrar como os produtos cárneos desenvolvidos com substitutos de nitrito e nitrato de sódio podem ter potencial de mercado e podem ser explorados pelas indústrias alimentícias para produção de produtos mais saudáveis e que também atendam às exigências do ponto de vista sensorial dos consumidores.

REFERÊNCIAS

1. QUEIROZ, Verônica Freire et al. Carne caprina e sua utilização na elaboração de produtos cárneos: Uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 9, p. e4810917648-e4810917648, 2021

2. SAFAR, Gadimova Natavan et al. Development of new types of combined meat products and dynamic changes depending of their indicators on various technological stages of production. **Food Science and Technology**, v. 42, p. e59220, 2021.

3. COSTA, Roger J. et al. Preservation of meat products with bacteriocins produced by lactic acid bacteria isolated from meat. **Journal of Food Quality**, v. 2019, p. 1-12, 2019.

4. OLIVO, R.; RIBEIRO, L.G.T. Novos Conceitos sobre Nitratos e Nitritos. Brazilian Journal of Surgery and Clinical Research v. 24, n. 3, p. 115-125, 2018.

5. ROCHA, Cleber Bastos et al. Efetividade da educação sanitária na redução dos riscos no comércio de produtos cárneos. **Pubvet**, v. 12, p. 131, 2018.

6. MUNEKATA, Paulo Eduardo S. et al. Addition of plant extracts to meat and meat products to extend shelf-life and health-promoting attributes: An overview. **Current Opinion in Food Science**, v. 31, p. 81-87, 2020

7. SCOURBOUTAKOS, Mary J.; MURPHY, Sarah A.; L'ABBÉ, Mary R. Association between salt substitutes/enhancers and changes in sodium levels in fast-food restaurants: A cross-sectional analysis. **Canadian Medical Association Open Access Journal**, v. 6, n. 1, p. E118-E125, 2018

8. 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.

9. SILVA, Kéllen de Mello da. **Substituição parcial/total dos aditivos alimentares nitrato e nitrito por fontes vegetais e tecnologias de processamento em salsichas**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de São Carlos, campus Lagoa do Sino, Buri, 2023

10. KIM, Tae-Kyung et al. Effect of fermented spinach as sources of pre-converted nitrite on color development of cured pork loin. **Korean journal for food science of animal resources**, v. 37, n. 1, p. 105, 2017.

11. CHÁVEZ R. **Sustitución de nitrito de sodio por extracto de espinaca (spinacia oleracea) y su influencia en la calidad de salchicha vienesa** (Tesis de Grado) Universidad Nacional de Chimborazo. Riobamba, Ecuador, 2022.

12. RIEL, Greta et al. Effects of parsley extract powder as an alternative for the direct addition of sodium nitrite in the production of mortadella-type sausages–Impact on microbiological, physicochemical and sensory aspects. **Meat Science**, v. 131, p. 166-175, 2017.

13. HUANG, Ling et al. Production of a safe cured meat with low residual nitrite using nitrite substitutes. **Meat science**, v. 162, p. 108027, 2020.

14. FERREIRA, Valquiria C. da S. et al. **Efeito da substituição de nitrito comercial por pós de beterraba** (*Beta vulgaris L.*) E RÚCULA (*Eruca sativa L*) na cura de salame tipo italiano. 2023.

15. CARVAJAL-MACÍAS, Bernardo et al. Sustitución de nitritos en un producto cárnico embutido por nabo (Brassica rapa) y sustitución parcial de harina de

papa (Solanum tuberosum) por harina de cáscara de mango (Mangifera indica) para la evaluación del desarrollo de color y textura. **Informador técnico**, v. 83, n. 1, p. 19-29, 2019.

16. CHANSHOTIKUL, Nachayut; HEMUNG, Bung-Orn. Natural curing of fermented sausage using vegetable powders. **Asia-Pacific Journal of Science and Technology**, v. 25, n. 2, 2020.

17. RÉ AA 2020. **Aplicação de infusões de ervas aromáticas para substituição de aditivos químicos num modelo de carne fermentado** (dissertação de mestrado). Lisboa: FMV-Universidade de Lisboa.

18. SIQUEIRA, Felipe Segabinazzi. **Produção de linguiça frescal utilizando o pó de aipo em substituição ao nitrito e extrato de alecrim como antioxidante**. 2020.

19. DEVÈZE, Christiane Canata. **Substituição de nitrito de sódio por extrato vegetal na elaboração de produto cárneo cozido enlatado**. 2021.

20. SILVA, José Renato et al. **Pigmentos Monascus: fonte de corante natural alimentício.** CIAGRO, 2020. Congresso Internacional da Agroindústria 25 a 27 de setembro de 2020.

APLICABILIDADE DA MACAMBIRA *(BROMELIA LACINIOSA* MART. EX SCHULT*)* COMO COAGULANTE DE LEITE: UMA ABORDAGEM BIBLIOMÉTRICA

APPLICABILITY OF MACAMBIRA (*BROMELIA LACINIOSA* MART. EX SCHULT) AS A MILK COAGULANT: A BIBLIOMETRIC APPROACH

DOI: 10.65747/conali2025v3c21

Jonathas Luiz de Sena Santos[1]; Wellington Moreira da Silva[2]; Lívia de Abreu Silva[3]; José Dilson Francisco da Silva[4]; Maria Aparecida de Melo Alves[5]

[1] Estudante do Curso de Tecnologia em Laticínios – Campus Satuba – INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS/IFAL; [2] Estudante do Curso de Tecnologia em Laticínios – Campus Satuba – INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS/IFAL; [3] Estudante do Curso Médio Técnico Integrado em Agroindústria – Campus Satuba – INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS/IFAL; [4] Químico/Coorientador da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM; [5] Docente/Orientadora do Instituto Federal de Alagoas – Campus Satuba.

Contato: jlss19@aluno.ifal.edu.br

Resumo: A macambira (*Bromelia laciniosa* Mart. ex Schult.) é uma planta xerófila endêmica da região Nordeste, com diversidade de cores, tamanhos, hábitos e potencialidades de uso, sendo: ornamentais, cercas vivas, alimentícias, produção de fibras e enzimas. Este estudo objetivou realizar uma análise bibliométrica sobre a aplicabilidade da espécie como agente coagulante no leite bovino. Realizaram-se três buscas na base de dados Scopus, utilizando operadores booleanos aplicados às expressões: *"Bromelia laciniosa" OR "Macambira", "Bromelia laciniosa" AND "Milk", e "Bromelia laciniosa" AND "Milk" OR "Macambira",* as quais resultaram, respectivamente, em 4, 0 e 37 documentos. Após análise preliminar na própria Scopus (ano de publicação, áreas temáticas abordadas, origem e meios de divulgações dos documentos encontrados), apenas os 37 documentos foram submetidos à análise no *software* VOS*viewer* para geração de mapas (coautoria e Co-ocorrência de palavras-chaves). A compilação dos indicadores apresentou 166 autores e 666 palavras-chave. Observou-se a produção científica dos documentos encontrados (média de uma publicação por ano); no que se refere à coautoria, destaca-se que autor De Oliveira, A.P. apresenta maior número de ligações (27); em referência a Co-ocorrência apresenta ausência dos termos "coagulante" e "leite". Conclui-se, portanto, que, apesar das potencialidades da planta, estudos relacionados à sua aplicabilidade enzimática no leite bovino ainda são incipientes. Diante da lacuna identificada, esta revisão pode contribuir significativamente ao investigar o potencial da macambira como agente enzimático vegetal no leite bovino.
Palavras–chave: Análise bibliométrica; leite bovino; macambira; Scopus.

Abstract: Macambira *(Bromelia laciniosa* Mart. ex Schult.*)* is a xerophilous plant endemic to the Northeastern region of Brazil, exhibiting a wide range of colors, sizes, growth habits, and potential uses, including ornamental purposes, living fences, food, fiber production, and enzymes. This study aimed to conduct a bibliometric analysis of the applicability of the species as a coagulant agent in bovine milk. Three searches were performed in the Scopus database using Boolean operators applied to the expressions: *"Bromelia laciniosa" OR "Macambira", "Bromelia laciniosa" AND "Milk", and "Bromelia laciniosa" AND "Milk" OR "Macambira"*, which resulted in 4, 0, and 37 documents, respectively. After a preliminary analysis in Scopus (publication year, thematic areas covered, origin, and publication channels of the documents), only the 37 documents were analyzed using the VOS*viewer software* for map generation (co-authorship and keyword co-occurrence). The compiled indicators revealed 166 authors and 666 keywords. The scientific output showed an average of one publication per year. Regarding co-authorship, the author De Oliveira, A.P. had the highest number of links (27); in terms of keyword co-occurrence, the terms "coagulant" and "milk" were absent. Therefore, it is concluded that, despite the potential of the plant, studies related to its enzymatic

applicability in bovine milk are still incipient. Given the identified gap, this review may significantly contribute by exploring the potential of macambira as a plant-based enzymatic coagulant in bovine milk.
Keywords: Bibliometric analysis; bovine milk; macambira; Scopus.

INTRODUÇÃO

A macambira (*Bromelia laciniosa* Mart. ex Schult.) é uma planta da família Bromeliaceae, a mesma do abacaxi (*Ananas comosus*). Seu fruto é uma baga tricarpelar, medindo entre 3 e 5 cm de comprimento e apresentando diâmetro variável de 10 a 20 mm. Quando madura, a baga adquire tons amarelados, enquanto sua estrutura principal e secundária pode apresentar coloração roxa ou vinho (1).

De acordo com (2), a família Bromeliaceae é composta de 79 gêneros e 3.672 espécies. Em suma, a espécie apresenta ampla diversidade de cores, tamanhos e hábitos, e possui diferentes potencialidades de uso, como aplicação ornamental, cercas vivas, alimentação, produção de fibras e enzimas (3,4). Apesar das potencialidades, estudos avaliando a aplicabilidade das enzimas presentes na macambira como fonte coagulante no leite são incipientes.

Estudos fitoquímicos expõem que a macambira possui elevada concentração de flavonoides, ausência de taninos e presença moderada de antocianinas (5). Além disso, testes de toxicidade aguda com extrato etanólico da planta realizados em camundongos não foram observadas alterações comportamentais e fisiológicas, nem a letalidade dos animais nas doses de 2,0 g/kg por via intraperitoneal, e de 5 g/kg por via oral, sugerindo baixa toxicidade e potencial para aplicações tecnológicas seguras (5).

Diante da lacuna de conhecimento científico sobre a utilização tecnológica da macambira, destaca-se a execução do projeto de pesquisa PVP1366, intitulado “Viabilidade tecnológica do fruto da macambira (*Bromelia laciniosa* Mart. ex Schult.) como agente coagulante no leite bovino”, conduzido pelo Instituto Federal de Alagoas (Campus Satuba), em parceria com a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

A coagulação do leite bovino envolve uma série de reações químicas. Especialmente na k-caseína, que sofre o processo de hidrólise, formando coalhada enquanto se desprende do soro líquido. As bactérias láticas (BAL) presentes no meio, transformam a lactose em ácido lático, diminuindo o pH e contribuindo para a formação da coalhada (6). Tradicionalmente são utilizadas enzimas de origem animal (quimosina ou/e pepsina) para acelerar a reação e produzir diversos queijos (7,8).

No entanto, devido a crescente adoção de dietas vegetarianas e veganas, aliada a preocupações éticas e ambientais, tem-se buscado por alternativas aos coagulantes convencionais (9), impulsionando o uso de enzima microbianas, recombinantes e vegetais (6). É importante salientar que, embora conservantes microbianos e sintéticos sejam amplamente utilizados, o

mercado consumidor tem demonstrado uma demanda crescente por alternativas naturais, devido aos seus benefícios à saúde, compostos bioativos e sustentáveis (10).

A utilização de enzimas de origem vegetal como agente coagulante do leite bovino, torna-se uma alternativa promissora, visto que são produzidas a partir de recursos naturais e viabilizam uma opção em relação ao coagulante de origem animal (11). Portanto, a exploração destas alternativas pode contribuir com a sustentabilidade na indústria de laticínios (12) ao reduzir significativamente a dependência de coagulantes de origem animal.

De acordo com (13), testes com coagulantes vegetais extraídos de plantas nativas e exóticas do Nordeste apresentaram resultados promissores, demonstrando ação coagulante no leite de cabra e bovino. Diversas pesquisas já abordaram o uso de coagulantes vegetais como substitutos parciais ou integrais de enzimas animais (14,15,16), destacando o interesse por alternativas sustentáveis de coagulantes naturais.

Este estudo tem como objetivo realizar uma análise bibliométrica sobre o uso da macambira (*Bromelia laciniosa* Mart. ex Schult.) como agente enzimático na coagulação do leite.

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia adotada nesta pesquisa baseou-se em uma abordagem quanti-qualitativa (17), com análises realizadas na base de dados Scopus e uma revisão bibliométrica voltada ao mapeamento científico das aplicações do objeto de estudo, por meio do *software* VOS*viewer* (versão 1.6.20.0).

BASE DE DADOS SCOPUS

Através do Portal de Periódicos da CAPES, realizou-se uma busca na base de dados Scopus no mês de fevereiro/2025. Como estratégia, utilizaram-se *strings* de busca combinando os descritores "*Bromelia laciniosa*", "*Milk*" e "*Macambira*" com operadores booleanos (Quadro 1).

Quadro 1 - *String* de busca.

"Bromelia laciniosa" AND "Milk" OR "Macambira"
"Bromelia laciniosa" AND "Milk"
"Bromelia laciniosa" OR "Macambira"

Fonte: Autores, 2025.

Posteriormente, na própria base de dados, foram realizadas as seguintes análises: ano de publicação, áreas temáticas abordadas, origem (país ou território), afiliação, meios de divulgação e fomentadores dos documentos encontrados.

ANÁLISES REALIZADAS NO *SOFTWARE* VOS*VIEWER*

Após a análise dos dados disponíveis na base Scopus, estes foram exportados em formato CSV para o *software* VOS*viewer* (versão 1.6.20.0), utilizando os filtros e critérios descritos na Tabela 1. Essa etapa possibilitou a criação de mapas de rede de coautoria e de coocorrência de palavras-chave.

Tabela 1 - Filtros aplicados à base de dados Scopus na etapa de mapeamento científico da literatura sobre a macambira.

Filtros	Critérios
Número mínimo de documentos de um autor	1 documento por autor
Número mínimo de ocorrências de uma palavra-chave	2 ocorrências de palavras-chave

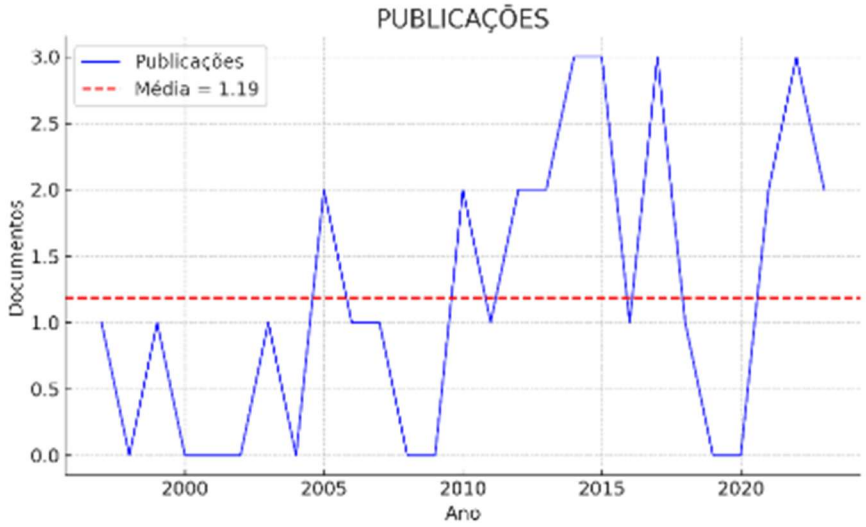
Fonte: Autores, 2025.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira descrição da pesquisa, fornecida pela base Scopus, apresenta importantes informações sobre as buscas efetuadas. Nota-se que a busca pelos termos *"Bromelia laciniosa" AND "Milk"* não resultou em documentos encontrados, o que evidencia a escassez de publicações relacionadas à aplicação enzimática da espécie no leite. Já a busca com os termos *"Bromelia laciniosa" AND "Milk" OR "Macambira"* resultou em apenas quatro documentos, ainda assim, estes não apresentaram correspondência com objetivo pesquisado.

Com relação a busca *"Bromelia laciniosa" OR "Macambira"*, em termos de análise de resultados, foram acordados 37 documentos no intervalo considerado (1997-2024). Considerando a média de 1 documento publicado por ano, os dados apresentam um baixo número de publicações em relação ao tema abordado (Figura 1).

Figura 1 - Distribuição temporal das publicações científicas sobre macambira (*Bromelia laciniosa)* indexadas na base de dados Scopus no período de 1997 a 2024.



Fonte: Scopus, 2025.

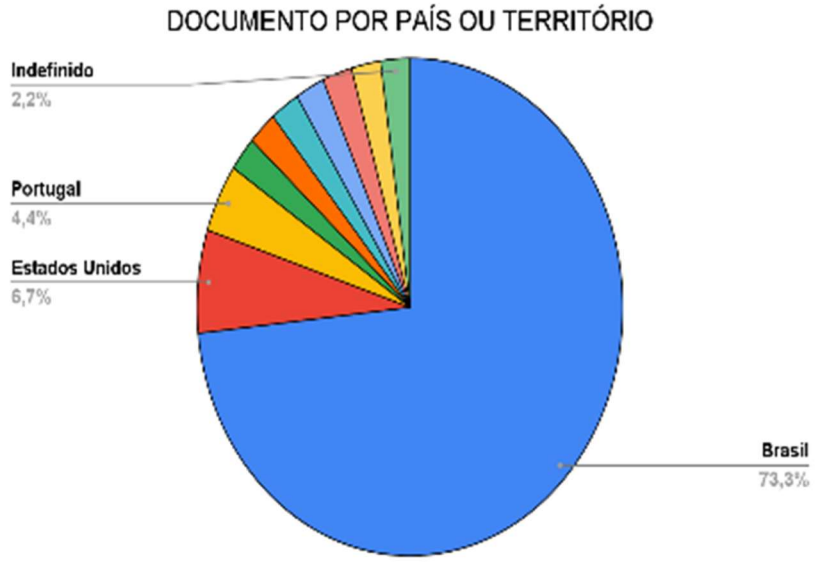
Em relação às áreas temáticas, destaca-se Ciências Agrárias e Biológicas (26%), Bioquímica, Genética e Biologia Molecular (14%), intrinsecamente a macambira também está presente na área alimentícia, como destaca o autor (5), Ciência dos Materiais (12%) e Farmacologia, Toxicologia e Farmacêutica (10%). Denota-se que a área de Ciências Agrárias e Biológicas é a mais abordada (Figura 2), uma vez que a macambira é amplamente utilizada na alimentação animal e na implementação de cercas vivas (2).

Figura 2 – Distribuição percentual das publicações sobre macambira (*Bromelia laciniosa)* por áreas do conhecimento, segundo classificação da base de dados Scopus.

Fonte: Scopus, 2025.

Dos artigos identificados, 73,3% dos documentos encontrados apresentaram origem brasileira (Figura 3), visto que se trata de uma planta endêmica da região Nordeste do Brasil. Esta planta ocorre principalmente na região da Caatinga ou em áreas de transição com a Mata Atlântica e o Cerrado, além de áreas de restinga (19). No entanto, Portugal (4,4%), Estados Unidos (6,7%), e 2,2% para todos os outros (China, Cuba, Alemanha, Hungria, Noruega e Reino Unido), destacando o interesse internacional na temática em questão.

Figura 3 – Origem geográfica das publicações indexadas sobre *Bromelia laciniosa*, segundo dados extraídos da base Scopus.



Fonte: Scopus, 2025.

A compilação dos indicadores relacionados à distribuição institucional das publicações apontou uma predominância significativa de universidades localizadas na região Nordeste do Brasil. Dentre as 10 instituições com maior número de documentos publicados, 80% pertencem a essa região. A Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) destacou-se com o maior número de documentos (n=8), conforme apresentado na (Tabela 2). No entanto, a presença da Universidade de São Paulo (USP), localizada na região Sudeste, com 3 documentos encontrados aponta para uma possível colaboração inter-regional ou interesse transversal na temática abordada. Complementarmente, foi observado o quantitativo de dois trabalhos ligados à Universidade do Porto (Portugal), isso indica que, independentemente do estudo estar concentrado no Nordeste, o tema também atrai o interesse em instituições de outras regiões do Brasil, assim como em universidades estrangeiras.

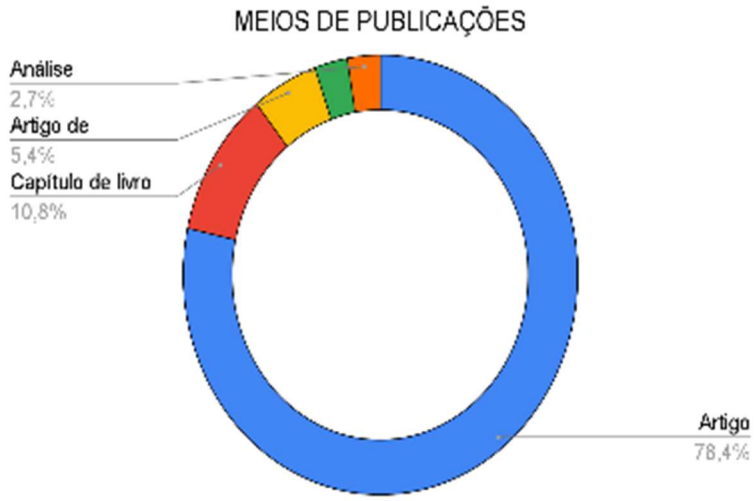
Tabela 2 – Distribuição das instituições ligadas às publicações sobre *Bromelia laciniosa*, segundo número de documentos e região.

Universidades	Número de documentos (n)	Regiões
Universidade Federal do Vale do São Francisco	8	Nordeste
Universidade Federal do Rio Grande do Norte	6	Nordeste
Universidade Federal de Pernambuco	6	Nordeste
Universidade Federal de Campina Grande	5	Nordeste
Universidade Federal Rural de Pernambuco	3	Nordeste
Universidade de São Paulo	3	Sudeste
Universidade Federal da Bahia	3	Nordeste
Universidade Estadual de Feira de Santana	3	Nordeste
Universidade Federal do Ceará	3	Nordeste
Universidade do Porto	2	Europa / Portugal

Fonte: Scopus, 2025.

Entre os meios de publicações utilizados, destaca-se que a maior parte dos trabalhos foram publicados na forma de artigos científicos (78,4%), evidenciando a preferência da comunidade acadêmica por esse formato, considerando sua ampla acessibilidade em periódicos indexados e sua relevância para a disseminação de conhecimento validado por pares. Em seguida, capítulos de livros (10,8%), enquanto artigos de conferências representam 5,4%. A baixa representatividade de outros formatos, como análises (Figura 4) reflete uma menor utilização dessas abordagens dentro do contexto pesquisado.

Figura 4 - Métodos de divulgação científica dos documentos encontrados através da Scopus.



Fonte: Scopus, 2025.

No que se refere aos fomentadores dos documentos analisados, observa-se que a maior parte dos financiamentos é provindo de órgãos federais. Destacando-se, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) com financiamento de sete publicações, enquanto o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) apoiou seis. Ambas as instituições são amplamente reconhecidas como os principais órgãos financiadores da pesquisa científica no Brasil. Esses dados evidenciam um investimento significativo em estudos mais estruturados e aprofundados sobre a *Bromelia laciniosa*. Ressalta-se, ainda, a participação de outros órgãos de fomento, também elencados na Tabela 3.

Tabela 3 – Órgãos, fundações e universidades fomentadoras das publicações a partir dos buscadores analisados na Scopus.

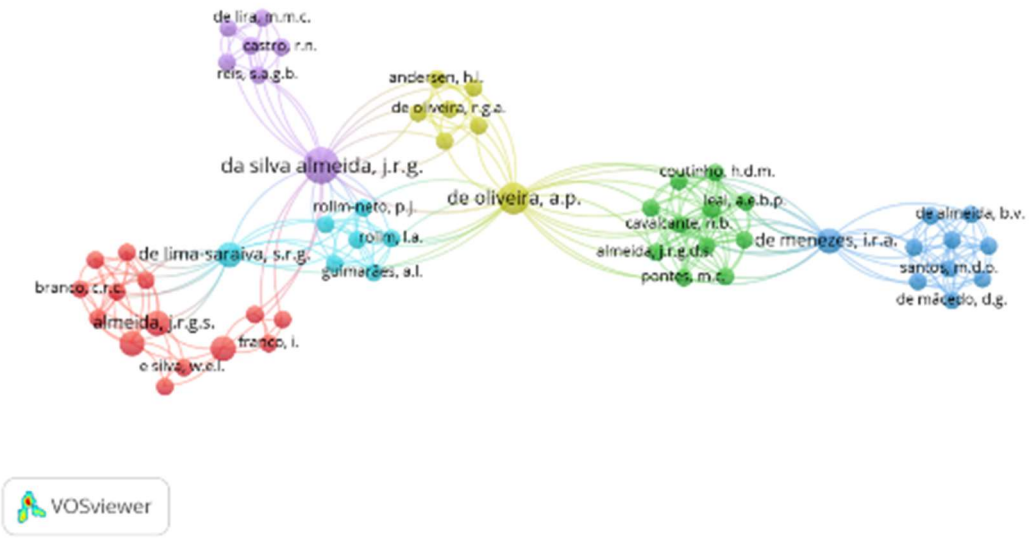
Fomentadores	**Número de documentos financiados**
Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)	7
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)	6
Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE)	2
Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP)	1

Fundação Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF)	1
Governo do Brasil	1
Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio)	1
Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)	1
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)	1
Universidade de Bergen (Noruega)	1

Fonte: Autores, 2025.

A análise realizada no *software* VOS*viewer* identificou um total de 166 autores. Ao verificar as redes de coautoria no VOS*viewer*, considerando um número mínimo de um autor, resultou em: 56 itens, 6 grupos e 264 ligações totais. O autor De Oliveira, A.P. apresenta o maior número de ligações (27 ligações em 3 documentos), respectivamente Da Silva Almeida, J.R.G (25 / 4); De Menezes, I.R.A. (21 / 2); e De Lima-Saraiva, S.R.G. (16 / 2). Estes autores se destacam por apresentarem as maiores esferas, indicando um maior número de ligações e a forte interligação entre diferentes grupos. Entretanto, o autor De Oliveira, A.P. é visualizado como o principal autor entre todas as ligações (Figura 5).

Figura 5 – Rede de colaboração entre autores com publicações sobre *Bromelia laciniosa*, elaborada no *software* VOS*viewer* a partir de dados da Scopus.

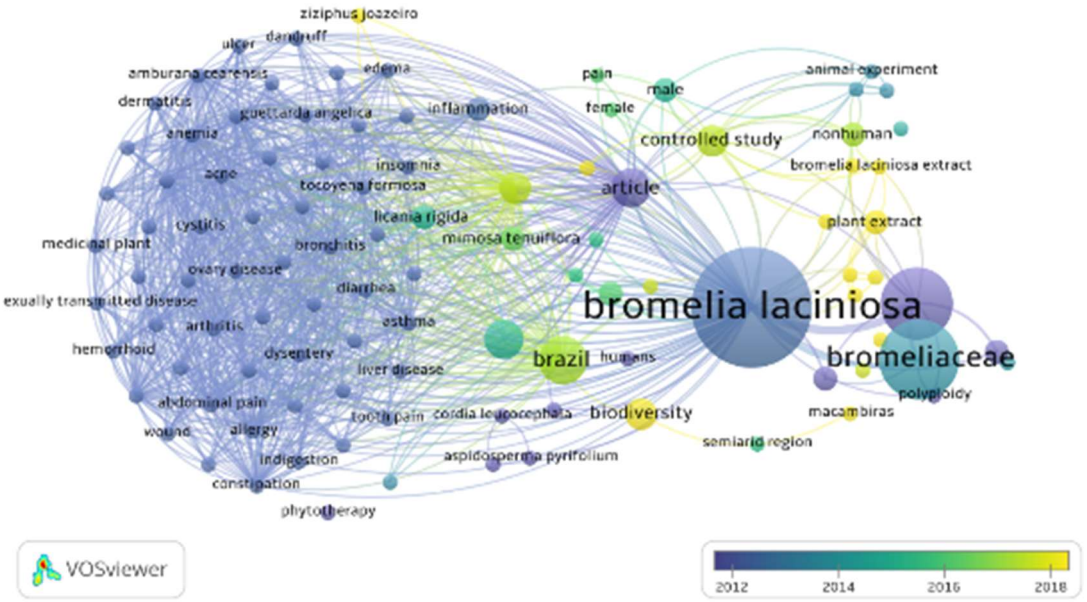


Fontes: Autores, 2025.

Em relação às cores das esferas vistas anteriormente, observa-se que o grupo identificado pela cor vermelha é composto por 14 itens, sendo considerado o primeiro entre os seis grupos restantes. De acordo com (20) quanto mais itens relacionados a um agrupamento, mais viva será a cor, assim, cores quentes (vermelho, laranja, amarelo) indicam alta densidade em relação às frias (azul, violeta e verde).

A respeito da Co-ocorrência de palavras-chave com um número mínimo de duas ocorrências, resultou em 104 itens, 3 grupos e 5624 ligações totais. Entretanto, mesmo apresentando 666 palavras-chave, os termos “coagulante” e “leite” não foram apresentados/estudados, fortalecendo a lacuna abordada. No entanto, a partir do ano de 2018 (esferas amarelas), observou-se a emergência dos termos *“biodiversity”* e *“plant extract”*, indicando um possível interesse crescente no uso da macambira como fonte de sustentabilidade (Figura 6).

Figura 6 – Visualização da coocorrência de termos em publicações sobre *Bromelia laciniosa*, segundo análise e geração de gráficos a partir do *software* VOS*viewer*.



Fonte: Autores, 2025.

CONCLUSÕES

Conclui-se, portanto, que, apesar das diversas potencialidades da macambira, o número de documentos encontrados nas buscas realizadas foi inferior a 50, o que evidencia a escassez de estudos científicos sobre a mesma. Embora a planta seja endêmica da região Nordeste do Brasil, países como Portugal e Estados Unidos se fazem presentes nos documentos analisados, o que demonstra interesse internacional e rede de coautoria. Os mapas gerados pelo *software* VOS*viewer* reforçaram a ausência de palavras-chave ligadas ao uso da planta como agente enzimático no leite

bovino, o que reforça a lacuna identificada e ressalta a necessidade de pesquisas mais direcionadas sobre esse potencial biotecnológico da *Bromelia Laciniosa* Mart. ex Scult.

AGRADECIMENTOS

A Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação (PRPPI) do Instituto Federal de Alagoas pelo fomento; ao Instituto Federal de Alagoas Campus Satuba por ofertar estrutura e condições necessárias para o desenvolvimento das atividades de pesquisas; a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) pela colaboração e parceria.

REFERÊNCIAS

1. Dutra AS, Teófilo EM, Medeiros Filho S. Germinação de sementes de macambira (*Bromelia laciniosa* Mart. ex Schult). *Rev Caatinga*. 2010;23(2):12–7.

2. De Souza EH, et al. Macambiras, the most northeastern of the xerophiles: taxonomy, distribution and potential. *Rev Macambira*. 2021;5(1):e051005.

3. Leme EMC, Marigo LC. *Bromélias na natureza*. Rio de Janeiro: Marigo Comunicações Visuais; 1993. 183 p.

4. Benzing DH. *Bromeliaceae: profile of an adaptive radiation*. Cambridge: University Press; 2000. 290 p.

5. Saraiva RGL. Efeito antinociceptivo de espécies de Bromeliaceae nativas da Caatinga: um estudo comparativo (dissertação). Recife: Universidade Federal de Pernambuco; 2012 (cited 2025 Jun 26). Available from: https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/3668

6. Tesfaw AT, et al. Exploring cheese production enzymes from various plants as an alternative to calf rennet. *Discov Food*. 2024;4(1):1–10.

7. Liu X, et al. Advances in research on calf rennet substitutes and their effects on cheese quality. *Food Res Int*. 2021 Nov;149:110704.

8. De Jesus JC. Caracterização de coagulante vegetal obtido da flor da alcachofra (*Cynara cardunculus* L. var. *scolymus* L.) e sua influência na produção e maturação do queijo (tese). Vitória da Conquista (BA): Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia; 2023 (cited 2025 Jun 26). Available from: https://www2.uesb.br/ppg/ppgecal/wp-content/uploads/2023/05/JOSANE-CARDIM-DE-JESUS.pdf

9. Akinloye AM, Adewumi OO. Effects of local coagulants on the yield of cheese using cow and sheep milk. *Int J Dev Sustain*. 2014;3(1):150–61.

10. Ritota M, Manzi P. Natural preservatives from plant in cheese making. *Animals*. 2020;10(4):749.

11. Litrenta F, et al. The identification of potential nutritional and sensory markers for the authentication of an innovative Canestrato cheese based on plant-derived rennet. *Dairy*. 2024;5(4):828–41.

12. Alvarenga J, et al. A importância da gestão da cadeia de suprimentos na estratégia de sustentabilidade na indústria alimentícia. 2023.

13. Egito AS, Mota AC, Mota MF, Ximenes AV, Rodrigues RC. Identificação de enzimas vegetais com atividade coagulante sobre o leite para a possível utilização na fabricação de queijos de cabra. In: Encontro de Iniciação à Pesquisa; 1996; Fortaleza, Brasil. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará; 1996. p. 933.

14. Almeida CM, Simões I. Cardoon-based rennets for cheese production. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2018;102:4675–86.

15. Ben Amira A, et al. Milk-clotting properties of plant rennets and their enzymatic, rheological, and sensory role in cheese making: a review. *Int J Food Prop*. 2017;20(Suppl 1):S76–93.

16. Rincón AA, et al. Influence of vegetable coagulant and ripening time on the lipolytic and sensory profile of cheeses made with raw goat milk from Canary breeds. *Food Sci Technol Int*. 2017;23(3):254–64.

17. Adetunji VO, Salawu OT. West African soft cheese 'wara' processed with Calotropis procera and Carica papaya: a comparative assessment of nutritional values. *Afr J Biotechnol*. 2008;7(18).

18. Da Rocha SD, Medeiros RL, Mafra RZ. Revisão bibliométrica e mapeamento científico utilizando o *software* VOS*viewer*® das espécies Phyllanthus niruri, Lippia alba, Carapa guianensis e Theobroma cacao. *Cad Prospecção*. 2024;17(4):1143–64.

19. De Souza EH, et al. Macambiras and sympatric species of Serra do Jatobá, Milagres, Bahia, Brazil. *Rev Macambira*. 2021;5(2):e052001.

20. Luiz IC. *VOSviewer: tutorial para iniciantes* (e-book). Santa Catarina: Fundação Universidade do Estado de Santa Catarina; 2022.

CARACTERIZAÇÃO MINERAL, MORFOLOGIA E ESTABILIDADE DA FLOR DE *Cosmos bipinnatus* CAV APÓS A COLHEITA

MINERAL CHARACTERIZATION, MORPHOLOGY AND STABILITY OF THE FLOWER OF *Cosmos bipinnatus* CAV AFTER HARVESTING

DOI: 10.65747/conali2025v3c22

Nayara Santos da Rocha[1]; Kassandra Hiandra Felipe[2]; Ryan Alves Rodrigues da Silva[3]; Julia Morais Pessoa[4]; Magnólia Martins Alves[5]; Railene Hérica Carlos Rocha Araújo[6]

[1]Estudante de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos – PPGEALI – UFCG; [2]Estudante do curso de Engenharia de Alimentos – UEALI – UFCG; [3]Estudante do curso de Engenharia de Alimentos – UEALI – UFCG; [4]Estudante de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos – PPGEALI – UFCG; [5]Doutora em Agronomia – UFPB; [6]Professora da Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos – CTRN- UFCG.
Contato: nayara.santos@estudante.ufcg.edu.br

Resumo: As flores comestíveis têm ganhado destaque devido ao seu valor estético, sensorial e nutricional, apresentando elevados teores de compostos bioativos, a flor de *C. bipinnatus* é rica em aminoácidos essenciais e oligoelementos, contribuindo para dietas vegetais de qualidade. O objetivo do presente estudo foi a caracterização da flor de *Cosmos bipinnatus* Cav., considerando seu potencial como alimento e a estabilidade pós-colheita da flor *in natura*. As flores foram colhidas no município de Areia–PB e submetidas a análises de composição mineral, MEV, além de avaliação de alterações no pH, acidez titulável, perda de massa fresca, cor e aparência visual após a colheita, mantidas a 27 ± 3ºC e 67 ± 5%, por 4 horas. A flor comestível de *Cosmos bipinnatus* apresentou uma composição mineral rica em potássio, cálcio e fósforo. Possui pétalas com células epidérmicas rica em ceras, importantes para a estabilidade da turgescência floral. Nas primeiras 4 horas após a colheita foram observadas alterações na aparência, acidez e cor, indicando início do processo de senescência. A flor possui potencial nutricional e funcional, embora alta perecibilidade, *in natura*. Torna-se necessário o uso de estratégias de conservação, como, revestimentos comestíveis ou atmosferas modificadas, para ampliar a durabilidade para comercialização *in natura*.
Palavras–chave: flores comestíveis, valor nutricional, qualidade, conservação.

Abstract: Edible flowers have gained prominence due to their aesthetic, sensory, and nutritional value, presenting high levels of bioactive compounds. The flower of Cosmos bipinnatus is rich in essential amino acids and trace elements, contributing to high-quality plant-based diets. The aim of the present study was to characterize the flower of Cosmos bipinnatus Cav., considering its potential as a food and the post-harvest stability of the fresh flower. The flowers were harvested in the municipality of Areia–PB and subjected to mineral composition analysis, scanning electron microscopy (SEM), and evaluation of changes in pH, titratable acidity, fresh weight loss, color, and visual appearance after harvest. Samples were maintained at 27 ± 3°C and 67 ± 5% relative humidity for 4 hours. The edible flower of Cosmos bipinnatus showed a mineral composition rich in potassium, calcium, and phosphorus. Its petals have epidermal cells rich in waxes, which are important for maintaining floral turgor. Within the first 4 hours post-harvest, changes in appearance, acidity, and color were observed, indicating the onset of senescence. The flower has nutritional and functional potential, although it is highly perishable in its fresh form. Thus, the use of conservation strategies, such as edible coatings or modified atmosphere packaging, is necessary to extend shelf life for fresh commercialization.
Keywords: edible flowers, nutritional value, quality, conservation

INTRODUÇÃO

As Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANC), espécies comestíveis historicamente utilizadas em práticas alimentares locais, porém pouco cultivadas ou desconhecidas no circuito agrícola dominante, têm sido valorizadas como alternativas sustentáveis para diversificação alimentar, conservação da biodiversidade e valorização dos saberes populares (1).

Entre as PANC, flores comestíveis têm ganhado destaque devido ao seu valor estético, sensorial e nutricional, apresentando elevados teores de compostos bioativos como flavonoides, antocianinas, carotenoides e fenólicos totais, reconhecidos por suas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e potencial quimioprotetor, que atuam na prevenção de doenças crônicas não transmissíveis e podem ser aplicados como ingredientes funcionais e corantes naturais (2).

A espécie *Cosmos bipinnatus* Cav. (*Asteraceae*) destaca-se por suas múltiplas propriedades funcionais, especialmente pelas antocianinas presentes em suas flores vermelhas, cujos teores são comparáveis aos da groselha-preta (*Ribes nigrum*) (3). Extratos florais demonstraram significativa atividade antioxidante e antigenotóxica, atenuando danos oxidativos ao DNA, e a bioacessibilidade dessas antocianinas é favorecida por características estruturais específicas da matriz vegetal (4, 5).

Nutricionalmente, a flor de *C. bipinnatus* é rica em aminoácidos essenciais e oligoelementos, contribuindo para dietas vegetais de qualidade, além de apresentar propriedades antimicrobianas e dermoprotetoras, como indução da síntese de colágeno e prevenção do fotoenvelhecimento cutâneo, ampliando seu potencial para as indústrias cosmética e farmacêutica (6, 7, 8, 9).

O objetivo do presente estudo foi a caracterização da flor de *Cosmos bipinnatus* Cav., considerando seu potencial como alimento e a estabilidade pós-colheita da flor *in natura*.

MATERIAL E MÉTODOS

Local

O estudo foi realizado no Laboratório de Qualidade e Processamento de Produtos de Origem Vegetal (Laprove), com apoio de outros laboratórios da Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos (UAEALI), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), *Campus* Campina Grande, Paraíba.

Matéria-prima

As flores foram colhidas completamente abertas, no início da manhã, no campo de produção da microempresa Paraíso das Flores, localizado na zona rural da cidade de Areia-PB, região do

brejo Paraibano. Cerca de 100 flores de *Cosmos bipinnatus* foram colhidas com auxílio de tesoura doméstica mantendo pedúnculo com de 10 a 15 cm de comprimento. Por ocasião da colheita, as flores foram acomodadas em caixa de isopor resfriadas com gelo, depositado na base da caixa para minimizar o estresse pelo calor, e pulverizadas com água destilada, visando a manutenção do frescor, sendo em seguida, transportadas em carro, para o laboratório, distante aproximadamente 50 Km do local de colheita.

No laboratório, as flores foram distribuídas em mesa de aço inoxidável, devidamente higienizadas e selecionadas, mantendo-se somente as flores com uniformidade de cor, tamanho e ausência de defeitos. Posteriormente, tomou-se 10 flores que foram padronizadas quanto ao comprimento do pedúnculo para o 0,5 cm, para o estudo de estabilidade quanto a perda de massa fresca e cor, nas primeiras horas após a colheita. Outras 30 flores foram separadas em triplicatas, para as demais análises, conforme apresentado a seguir:

pH e acidez titulável

A determinação do pH e da acidez titulável foi realizada imediatamente após o processo de seleção, denominado tempo zero e após 4 horas de armazenamento em condição ambiente (27 ± 3ºC e 67 ± 5%), mantidas sob a mesa, seguindo os procedimentos analíticos descritos pelo Instituto Adolfo Lutz (10).

EDX

Para essa análise, secou-se 6g da flor, descartando-se apenas o pedúnculo, em estufa convectiva por 24 horas a 60°C para a obtenção da biomassa seca. Em seguida, a mesma foi encapsulada em presa pneumática sob pressão de 4 bar por 30 segundos e analisada quanto a presença dos minerais (Ca, K, P, Fe, Zn, Se) por meio de EDX 720 (Shimadzu, Japão).

Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Para a realização da leitura, as flores foram secas em estufa a 60ºC por 20 horas. As imagens foram obtidas em microscópio eletrônico de varredura computadorizado (marca Tescan modelo VEGA 3 LMU), operando em uma voltagem de 0,3kV. As imagens foram capturadas nos aumentos de 300, 750, 1000, 1500, 2000, 2500X para análise e interpretação das estruturas registradas.

Análises da estabilidade da flor após a colheita

Para essa etapa as flores de *Cosmos bipinnatus* foram mantidas à temperatura ambiente (27 ± 3ºC e 67 ± 5%), sem adição de água ou conservantes, e avaliadas em cinco intervalos distintos: 0 h, 1 h, 2 h, 3 h e 4 h. Considerando-se 0h, o ponto inicial de avaliação, que ocorreu cerca de 3h após a colheita (tempo de transporte e seleção no laboratório).

Perda de massa fresca (%): Para essa análise utilizou-se 10 flores, que foram pesadas individualmente, em cada tempo (0, 1, 2, 3 e 4h) em balança semi-analítica, marca Quimis, com precisão de 0,0001. A perda de massa fresca foi obtida pela diferença entre o peso inicial e o obtido em cada intervalo de aferição.

Cor: A coloração foi avaliada através de leituras registradas diretamente nas pétalas florais, utilizando-se um colorímetro digital CR-10 (Konica Minolta Japão), com registros de leitura em L, a, b, em cada tempo.

Com base nessas avaliações estabeleceu-se uma escala de aparência ordinal de 5 notas, desenvolvida com base no aspecto visuais, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Escala visua de aparêcia da flor de *Cosmos bipinnatus* após a colheita.

Nota	Quantidade
1	Totalmente túrgida: flor fresca, cores vibrantes e pétalas firmes
2	Levemente túrgida: leve perda de frescor e pequenas mudanças de cor
3	Sinais do murchamento e de descoloração
4	Pétalas murchas e alterações nítidas na cor, escurecimento ou amarelecimento
5	Extremamente murcha: pétalas caídas e estrutura deteriorada

Fonte: Autores, 2025

Análise estatística

Os dados foram analisados quanto à análise descritiva quanto à interpretação das caracterizações e análise de regressão, para o estudo da estabilidade pós-colheita das flores (tempo de avaliação). Para a regressão, na escolha da equação levou-se em conta o melhor modelo matemático para o ajuste ao fenômeno biológico, a coeficiente de determinação e a significância do teste ao nível de 5% de probabilidade. O software SISVAR versão 5.6 (9). Os gráficos foram confeccionados com o auxílio do software Excell versão 2506 Build 16.0.18925.20076.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análises físico-químicas

pH e acidez titulável

Após 4 horas de armazenamento da flor de *Cosmos bipinnatus*, se observou um leve aumento no pH, passando de 4,992 para 5,037, acompanhado por redução na acidez titulável, que passou de 0,094% para 0,088%. Essas variações, embora sutis, são coerentes com alterações fisiológicas e bioquímicas típicas do metabolismo pós-colheita em flores. Segundo Lin e Jones (11), durante a senescência floral, há uma intensificação do metabolismo respiratório associado ao aumento da produção de etileno, o qual estimula a expressão de genes relacionados à degradação celular, como os envolvidos na autofagia. Esse processo leva à mobilização e ao consumo de reservas intracelulares, incluindo açúcares e ácidos orgânicos, o que reduz a acidez do tecido floral e resulta na elevação gradual do pH.

Tabela 2 - Análises realizadas no início e 4 h após a colheita

Análise	Tempo - 0 h	Tempo - 4 h
pH	4,992 ± 0,006	5,037 ± 0,010
Acidez (% de ácido cítrico)	0,094 ± 0,009	0,088 ± 0,017

Fonte: Autores, 2025

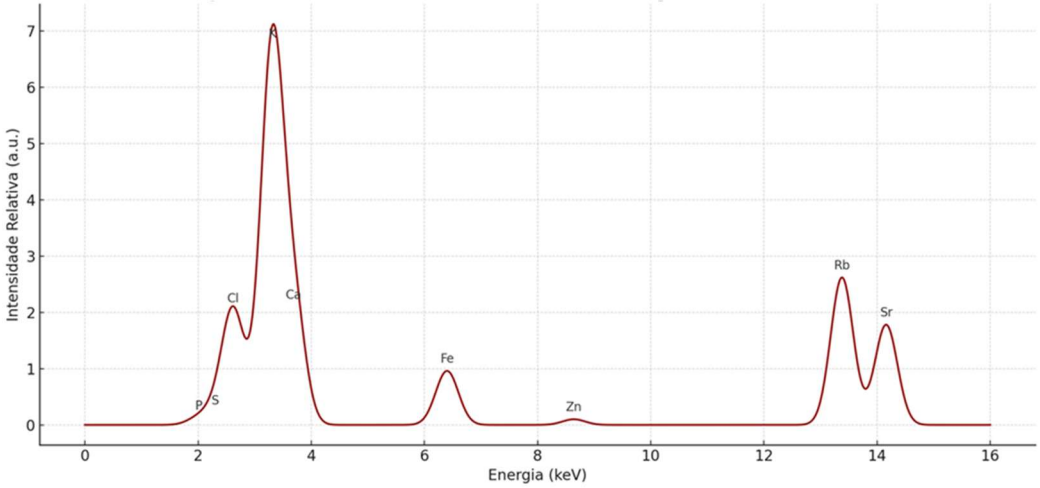
De acordo com van Doorn (12), a senescência das pétalas pode ser classificada em categorias distintas, mas em todas elas observa-se uma tendência comum: o declínio da acidez celular e o aumento da alcalinidade à medida que os tecidos perdem função e estrutura. A redução de ácidos como o cítrico e o málico, utilizados como fontes de energia, é um fator determinante para o aumento do pH em flores recém-colhidas.

Além disso, van Doorn e Woltering (13) destacam que o aumento do pH no meio celular pode afetar diretamente a absorção de água pelas flores, visto que pH mais elevado favorece o crescimento microbiano nos vasos condutores, obstruindo-os e acelerando a perda de turgidez. Dessa forma, mesmo pequenas alterações de pH, como a observada neste estudo, podem ter impacto significativo na qualidade pós-colheita, influenciando negativamente a vida útil da flor.

EDX

Os espectros obtidos na Figura 1 revelaram a presença de diversos macro e micronutrientes, além de elementos com possível origem mineral ou ambiental.

Figura 1 - Espectros de energia dispersiva de raios X (EDX) obtidos da flor *Cosmos bipinnatus*



Fonte: Autores, 2025

Na faixa de baixa energia (0–12 keV), foram detectados elementos essenciais no metabolismo vegetal, incluindo fósforo (P), enxofre (S), cloro (Cl), potássio (K), cálcio (Ca), ferro (Fe) e zinco (Zn). Esses elementos desempenham papéis fundamentais na fisiologia vegetal: Na, K e Cl atuam na regulação osmótica; P e S participam da síntese de ATP e aminoácidos sulfurados; Ca é responsável por funções estruturais e sinalização celular; Zn atua como cofator de enzimas antioxidantes e o Fe é amplamente reconhecido por seu papel como cofator em reações de óxido-redução e síntese de cloroplastos, além de estar envolvido na cadeia respiratória mitocondrial (14,15).

Já na faixa de energia superior, foram identificados rubídio (Rb) e estrôncio (Sr). Elementos como Sr, Rb, por sua vez, não são essenciais à fisiologia vegetal, mas podem ser absorvidos do solo por mecanismos não seletivos, sendo comumente acumulados em tecidos florais (16, 15). O estrôncio, por exemplo, mimetiza o cálcio e pode se ligar às mesmas vias de transporte, enquanto o rubídio possui comportamento químico semelhante ao potássio.

A *Cosmos bipinnatus* apresenta um sistema bioquímico ativo, o que pode estar correlacionado à presença de metabólitos secundários com potencial bioativo, como flavonoides, ácidos fenólicos e antocianinas, amplamente relatados na literatura (14). Essa composição pode contribuir para propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antimicrobianas atribuídas à espécie, além de indicar seu potencial uso em formulações nutracêuticas ou farmacológicas.

Ressalta-se que a presença de elementos-traço pode refletir as condições edafoclimáticas do local de cultivo, além de eventuais interações da flor com o ambiente (17, 18).

A análise por espectroscopia de dispersão de energia de raios X (EDX) revelou uma composição mineral complexa e rica da amostra floral, como mostra a Tabela 3, com destaque para os elementos potássio (K), cálcio (Ca), cloro (Cl), fósforo (P), enxofre (S), ferro (Fe), zinco (Zn).

Tabela 3 - Concentrações dos elementos presentes na flor *Cosmos bipinnatus*, obtidos por espectroscopia de energia dispersiva de raios x (EDX), empregando-se o método de parâmetros fundamental (Quan-PF)

Elementos	Teor (%)	DP (%)	Linha	Intensidade
K	58,515	0,091	Kα	6,7435
Ca	26,189	0,085	Ca Kα	2,0944
Cl	8,686	0,124	Cl Kα	2,0303
P	3,273	0,047	P Kα	0,1212
S	2,004	0,081	S Kα	0,2228
Fe	0,610	0,016	Fe Kα	0,9637
Rb	0,288	0,028	Rb Lα	2,6175
Zn	0,258	0,008	Zn Kα	1,0622
Sr	0,177	0,005	Sr Lα	1,7824

Fonte: Autores, 2025

O potássio, com concentração de 58,52%, é um macronutriente essencial não apenas para o metabolismo vegetal, mas também para a saúde humana, sendo fundamental na manutenção do equilíbrio hídrico, na contração muscular, na função nervosa e na regulação da pressão arterial. Estudos indicam que flores comestíveis apresentam elevados teores de potássio, muitas vezes superiores aos encontrados em hortaliças (19), o que as torna excelentes alternativas para enriquecer a dieta com esse mineral.

O cálcio, identificado em 26,19%, é conhecido por seu papel estrutural nas paredes celulares vegetais, mas também é indispensável na alimentação humana, sendo crucial para a saúde óssea, coagulação sanguínea, transmissão nervosa e função enzimática. A literatura confirma a relevância do cálcio como nutriente predominante em muitas espécies florais comestíveis (20).

O cloro, embora presente em menores quantidades, desempenha papel importante na fisiologia vegetal, como na fotólise da água e no balanço eletrolítico (21). Para os seres humanos, sua forma iônica é vital na regulação do equilíbrio ácido-base e na produção de ácido gástrico, essencial para a digestão.

O fósforo, componente estrutural de moléculas como ATP e ácidos nucleicos, tem papel central na liberação e armazenamento de energia celular. Sua presença em alimentos é necessária para o metabolismo energético e a manutenção da estrutura óssea. Já o enxofre, encontrado em aminoácidos como a cisteína e a metionina, contribui para a síntese proteica e o funcionamento adequado de enzimas e antioxidantes no organismo humano (22). A presença de micronutrientes

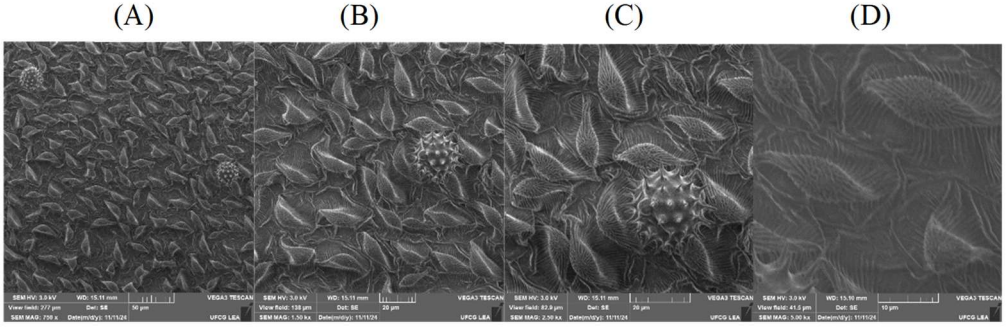
como ferro e zinco é particularmente relevante do ponto de vista nutricional. O ferro participa da formação da hemoglobina e do transporte de oxigênio, enquanto o zinco está associado à função imunológica, cicatrização de feridas e síntese de proteínas (23). Assim, a detecção desses elementos reforça o valor nutricional da flor como alimento funcional.

Apesar de presentes em menores proporções, o rubídio e o estrôncio também merecem destaque. Algumas plantas acumulam esses elementos traço, que, embora não essenciais à nutrição humana, podem desempenhar funções substitutivas ao potássio e ao cálcio, respectivamente, e têm sido estudados por seus potenciais efeitos na saúde óssea e na atividade enzimática (13).

Microscopia Eletrônica De Varredura (MEV)

Nas micrografias (Figura 2), verifica-se que a epiderme da pétala de *Cosmos bipinnatus* é composta por células pavimentosas, poligonais, com contornos sinuosos bem definidos. A cutícula apresenta microestruturas e deposição interveniente de ceras epicuticulares, conforme observado na ampliação de até 5.000X conforme a Figura 2 (D).

Figura 2 - Microestrutura da epiderme petalar de *Cosmos bipinnatus* observada por MEV



A: Aumento de 750x; B: Aumento de 1500x; C: Aumento de 2500x; D: Aumento de 5000x.

Fonte: Autores, 2025.

A presença de epicutícula está associada à menor perda hídrica e maior resistência à ação de microrganismos, o que contribui para maior durabilidade em pós-colheita (24, 25). Estudos recentes mostram que padrões cuticulares se formam por mecanismos de buckling durante o crescimento epidérmico, desempenhando papel importante na funcionalidade ótica e estrutural da petalização (26, 27).

Nas imagens (B) e (C), destaca-se a presença de estruturas esféricas com ornamentações típicas, compatíveis com grãos de pólen que, possivelmente, foram depositados sobre a superfície

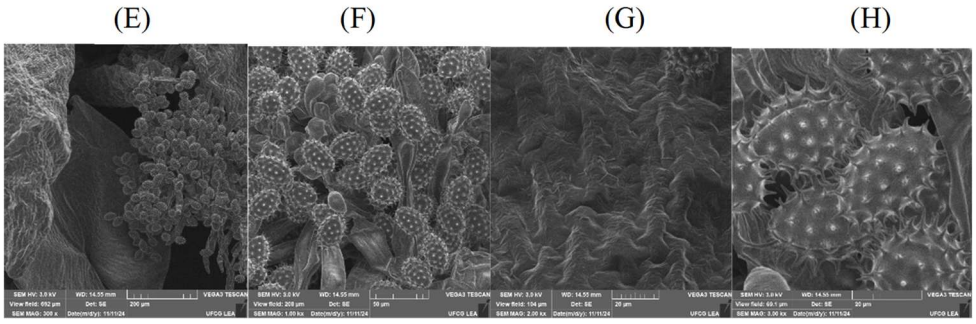
da pétala durante o manuseio ou exposição natural da amostra. Essas partículas não fazem parte da epiderme em si, mas reforçam a interação natural da flor com o ambiente.

A epiderme é composta por células papilosas, que apresentam projeções e contornos bem definidos, conferindo uma estrutura superficial irregular à superfície. Essa morfologia está frequentemente associada à alta deposição de ceras epicuticulares, o que justifica o brilho intenso observado macroscopicamente nas flores dessa espécie. Além de estética, essa característica tem importante papel fisiológico: contribui para a redução da perda de água por evaporação e oferece barreira física contra patógenos.

Além disso, é provável que essas células acumulem flavonoides em altas concentrações, compostos conhecidos por sua capacidade de absorver radiação UV e atuar como antioxidantes. Os flavonoides também são responsáveis pela coloração vibrante das pétalas de *C. bipinnatus*, sendo seus níveis diretamente relacionados à intensidade do vermelho, rosa ou púrpura observada visualmente e quantificada nos parâmetros cromáticos a* e b*.

Conforme observado na Figura 3, as micrografias evidenciaram os grãos de pólen com morfologia típica da família *Astereae*, com formatos esféricos, isopolares, tricolporados, e ornamentados com espículas conicais com microporos na base (28, 29).

Figura 3 - Morfologia polínica de *Cosmos bipinnatus* analisadas por MEV.



E: Aumento de 300x; F: Aumento de 1000x; G: Aumento de 2000x; H: Aumento de 3000x.
Fonte: Autores, 2025.

Estudos recentes sobre a família Asteraceae confirmam que as espículas têm comprimento médio entre 2–4 µm, com base alargada, e que os microporos emergem das bases das espículas, facilitando a liberação de substâncias como proteínas e lipídios biologicamente ativos (30).

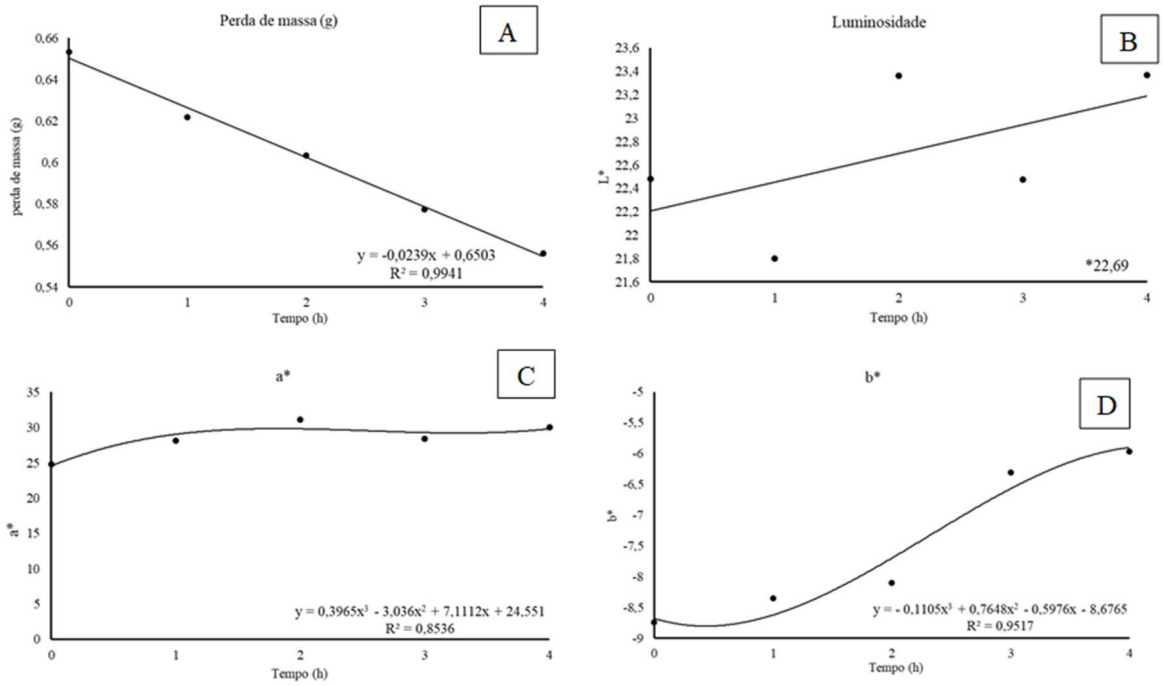
Do ponto de vista alergênico, pesquisas recentes indicam que lipídios e proteínas exínicos podem ser liberados via padrões ornamentais podendo gerar respostas imunes no organismo humano (28).

Estabilidade pós-colheita da flor

Foi realizado um acompanhamento da flor ao longo de 4 horas, a fim de analisar sua perda de massa fresca e possíveis alterações em sua cor. Para estudar o comportamento destes fenômenos, foi utilizada da regressão para os parâmetros em relação ao tempo.

Houve uma tendencia a redução da massa da flor ao longo do tempo, o que era um processo esperado devido a sua transpiração e o início da senescência. Como mostra a Figura 4A, a perda de massa ocorreu de forma linear.

Figura 4. Gráficos de regressão para as variáveis de perda de massa fresca e coloração.



*L: Dados não ajustados aos modelos de regressão
Fonte: Autores, 2025.

Segundo Gonçalves-Trevisoli et al. (31), durante o armazenamento ou após a colheita de flores a ativação de mecanismos fisiológicos de estresse que incluem aumento de perda de água, oxidação de compostos voláteis e degradação de pigmentos. Estes fatores quando combinados, contribuem para a perda de massa e qualidade estética das flores.

O estudo da coloração das pétalas da flor *Cosmos bipinnatus* foi avaliada usando três variáveis: L*, a* e b*. Esses parâmetros fazem parte do sistema CIELAB, que é um método muito usado para medir cores de forma objetiva. Assim como a parda de massa, foi possível analisar o comportamento da mudança destas cores através de uma análise de regressão apresentada na Figura 4B, C e D.

O valor L* indica o quanto a flor é clara ou escura, variando de 0 (preto) a 100 (branco). Se esse valor muda, pode ser sinal de que a flor está ficando mais opaca, escura ou perdendo brilho, o que pode acontecer por desidratação ou envelhecimento. Como pode ser observado na Figura

4B, este parâmetro apresenta uma leve tendencia de aumento ao longo das 4 horas, mas o valor de R² (0,337 a 0,366) indica que a variação é pouco explicada pelo tempo.

O valor a* mostra se a cor está mais próxima do vermelho ou do verde. Este parâmetro aumentou ao longo do tempo, principalmente até a segunda hora. Quando a* aumenta, significa que a flor está ficando mais avermelhada. Isso pode ser causado por mudanças nos pigmentos naturais, como as antocianinas, que são comuns em pétalas coloridas. Esta mudança pode ser associada a ação da luz ou também pode ser explicado ao início do processo de envelhecimento. Com o R² de 0,854, a equação polinomial de 3ª ordem consegue explicar bem a mudança nesta coloração, como apresenta a Figura 4C

Por fim, o valor b* mostra se a cor tende mais para o azul ou para o amarelo. Quando esse valor aumenta, quer dizer que a flor está perdendo a cor azulada e ficando mais amarelada. Isso pode acontecer quando os pigmentos começam a se degradar, o que é comum com o passar do tempo. Assim como o parâmetro a*, b* também aumentou ao longo do tempo, indicando o pigmento mais amarelado. Este fenômeno pode estar ligado à degradação de pigmentos ou ao início da senescência floral. Seu fenômeno também foi explicado pela equação polinomial de 3ª ordem, apresentando um R² de 0,952, como mostra a Figura 4D.

Essas quatro variáveis juntas ajudam a entender melhor como a cor da flor muda ao longo do tempo e como isso pode estar ligado aos processos de senescência, perda de água e exposição à luz. De forma resumida, os gráficos apresentados indicam que, mesmo em poucas horas, a flor começa a apresentar mudanças visíveis em sua coloração e massa, mesmo que ainda mantenha luminosidade de forma mais estável nesse período inicial.

Tabela 4 - Pontos atribuídos para cada tempo

Tempo (h)	Pontos
0	1
1	2
2	3
3	3
4	5

Fonte: Autores, 2025

Na tabela 4 estão os pontos atribuídos para cada tempo de pós colheita das flores *Cosmos bipinnatus*. No tempo 0 h, as flores estavam no ponto 1, apresentando coloração intensa, pétalas firmes e estrutura completamente túrgida, condição típica de flores recém-colhidas e fisiologicamente ativas. Esse estágio é caracterizado por integridade celular preservada e metabolismo equilibrado, com ausência de sinais visuais de senescência. De acordo com Sun *et al.* (32), essa fase corresponde ao início da pós-colheita, em que o balanço hídrico é fundamental para manter a aparência.

Após 1 hora, o pronto atribuído foi 2, indicando leve perda de turgor e poucas mudanças na coloração. Estudos recentes destacam que a perda de água por transpiração sem reposição adequada é um dos principais fatores responsáveis pela aceleração da senescência em flores (32).

No tempo de 2 horas, foi observado o ponto 3, o que corresponde ao início do murchamento, com sinais de descoloração e perda de firmeza das pétalas. Esse momento marca uma transição crítica entre a aparência comercial e o início da perda de valor agregado.

No tempo de 3 horas, o ponto se manteve em 3, sugerindo uma breve estabilização visual. Essa estagnação pode estar relacionada à adaptação temporária das células ao estresse hídrico, antes do colapso final. Conforme discutido por Farooq *et al.* (33), algumas flores passam por um equilíbrio visual, onde a estrutura externa parece estável, mas os processos senescentes continuam avançando internamente, como a perda de integridade das organelas e do citoesqueleto.

Já no tempo de 4 horas, a pontuação foi 5, indicando senescência avançada, com pétalas visivelmente colapsadas, murchas e início da deterioração tecidual. Nessa fase de senescência, as pétalas apresentam intensa degradação de proteínas estruturais associada à ativação de diversas classes de proteases, incluindo cisteína e serina proteases, além da intensificação de processos de ubiquitinação, indicando perda irreversível da integridade celular, resultando no murchamento intenso e perda de cor característica (34).

CONCLUSÕES

A flor comestível de *Cosmos bipinnatus* se destaca por sua composição mineral rica em potássio, cálcio e fósforo. Possui pétalas com células epidérmicas com rica em ceras, importantes para a estabilidade da turgescência floral. Nas primeiras 4 horas após a colheita, foram observadas alterações na aparência, acidez e cor, indicando início do processo de senescência. A flor possui potencial nutricional e funcional, embora alta perecibilidade, *in natura*. Torna-se necessário o uso de estratégias de conservação, como refrigeração, revestimentos comestíveis ou atmosferas modificadas, para ampliar a durabilidade para comercialização *in natura*, para mercados mais distantes.

REFERÊNCIAS

1. BIONDO, E. **Plantas alimentícias não convencionais (PANC) na merenda escolar: guia prático de implementação**. Curitiba: UFPR, 2018. Disponível em: https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/download/6846/5005/29921. Acesso em 13 de agosto de 2025
2. ALVES, F. M. Flores comestíveis: aspectos nutricionais, sensoriais e funcionais. **Revista Brasileira de Plantas Funcionais**, Curitiba, v. 19, n. 2, p. 345–358, 2021. DOI**:** https://doi.org/10.3895/rbsnf.v19n2.14667.

3. KULICHENKO, A. N.; KUREGYAN, A. G.; USHAKOVA, N. A.; et al. Cosmos bipinnatus Red as a promising source of anthocyanins and biologically active substances. **Biology Bulletin Reviews**, (S. l.), v. 12, n. 6, p. 579–591, 2022.
4. JANG, D. S.; PARK, E. J.; HAWTHORNE, M. E.; et al. Potential cytotoxic and anti-inflammatory constituents of the flowers of Cosmos bipinnatus. **Journal of Natural Products**, (S. l.), v. 71, n. 6, p. 973–975, 2008. DOI: https://doi.org/10.1007/s11130-008-0086-8.
5. TEIXEIRA, R. F. G.; DA SILVA, L. F. S.; SOUZA, J. G. S.; et al. Bioaccessibility and antioxidant potential of anthocyanins in edible flowers: a case study with Cosmos bipinnatus. **Food Chemistry**, (S. l.), v. 436, p. 137188, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.137188.
6. KULICHENKO, A. N.; LYAKHOVA, E. G.; USHAKOVA, N. A.; et al. Nutritional assessment of Cosmos bipinnatus flowers: amino acid and trace element composition. **Journal of Food Composition and Analysis**, (S. l.), v. 119, p. 105291, 2023.
7. WANG, Y.; LIU, Y.; GUO, Q.; et al. Flavonoid constituents from Cosmos bipinnatus and their antioxidant and antimicrobial activities. **Molecules**, Basel, v. 24, n. 1, p. e1–11, 2019. DOI: https://doi.org/10.3390/molecules24010001.
8. JASTI, M.; SUNKARI, Y.; ANANTHULA, S.; et al. Evaluation of antimicrobial activity of Cosmos bipinnatus flower extract and phytochemical analysis by GC–MS. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology,** (S. l.), v. 42, p. 102331, 2022. Disponível em: https://rjptonline.org/AbstractView.aspx?PID=2022-15-4-7. Acesso em 13 de agosto de 2025.
9. FERREIRA DF, (2011) Sisvar: Um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e Agroecologia.** 35 (6): 1039-1042.
10. INSTITUTO ADOLF LUTZ. Normas Analíticas do instituto Adolf Lutz. **Métodos físico-químicos para análises de alimentos**. 4ª ed. (1° Edição digital), 2008. 1020p.

11. LIN, Y.; JONES, M. L. CRISPR/Cas9-mediated editing of autophagy gene 6 in *Petunia* decreases flower longevity, seed yield, and phosphorus remobilization by accelerating ethylene production and senescence-related gene expression. *Frontiers in Plant Science*, v. 13, 840218, 2022. DOI: https://doi.org/10.3389/fpls.2022.840218.

12. VAN DOORN, W. G. Categories of petal senescence and abscission: a re-evaluation. *Annals of Botany*, v. 87, n. 4, p. 447–456, 2001. DOI: https://doi.org/10.1006/anbo.2000.1357.

13. VAN DOORN, W. G.; WOLTERING, E. J. Physiology and molecular biology of petal senescence. *Journal of Experimental Botany*, v. 59, n. 3, p. 453–480, 2008. DOI: https://doi.org/10.1093/jxb/erm356.

14. CHENG, Z.; LI, X.; WANG, Y.; et al. Elemental and phytochemical composition of edible flowers: nutritional and health implications**. Food Chemistry**, (S. l.), v. 356, p. 129664, 2021. DOI**:** https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129664.
15. KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4. ed. Boca Raton: CRC Press, 2011.
16. WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Calcium in plants. **Annals of Botany**, Oxford, v. 92, p. 487–511, 2003. DOI: https://doi.org/10.1093/aob/mcg164.
17. GOLDSTEIN, J. I.; NEWBURY, D. E.; MICHAEL, J. R.; et al. Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. 4. ed. New York: **Springer**, 2018.
18. TAMANNA, N.; DAS, S.; ALAM, M.; et al. Elemental composition and biological activity of butterfly pea (Clitoria ternatea) flower extracts. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, (S. l.), v. 25, p. 100396, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2023.100396.
19. ŠIRMER, J.; WEIDT, S.; MUELLER, S.; et al. Mineral composition and antioxidant activity of selected edible flowers. **Molecules**, Basel, v. 26, n. 18, p. 5562, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/molecules26185562.

20. JAGANATHAN, D.; VASUDEVAN, P.; KRISHNAN, R.; et al. Nutritional profile and phytochemical screening of edible flowers consumed in India**. Journal of Food Biochemistry**, (S. l.), v. 43, n. 10, e13054, 2019. DOI: https://doi.org/10.1111/jfbc.13054.
21. MAATHUIS, F. J. M. Sodium in plants: perception, signalling and regulation of sodium fluxes. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 65, n. 3, p. 849–858, 2014. **DOI**: https://doi.org/10.1093/jxb/ert326.
22. TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MÖLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
23. GUERRERO-CALDERÓN, J. C.; RAMÍREZ, L. M.; MORENO, R. H. Nutritional and functional properties of edible flowers: a review. **Plants,** Basel, v. 10, n. 9, p. 2005, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/plants10092005.
24. HEREDIA, A. Revisiting plant cuticle biophysics. **New Phytologist**, Oxford, 2024. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/nph.20009. Acesso em 11 de agosto de 2025.

25. YEATS, T. H.; ROSE, J. K. C. The formation and function of plant cuticles. **Plant Physiology**, (S. l.), v. 163, n. 1, p. 5–20, 2013. Disponível em: https://academic.oup.com/plphys/article/163/1/5/6111040. Acesso em 16 de agosto de 2025

26. MOYROUD, E.; WENZEL, T.; MIDDLETON, R.; et al. Cuticle chemistry drives the development of diffraction gratings on the surface of Hibiscus trionum petals. **Current Biology**, (S. l.), v. 32, n. 24, p. 5323–5334.e6, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.10.065.
27. LUGO-VÉLEZ, C. A.; MAZUMDER, A.; JI, W.; et al. Morphoelastic modelling of pattern development in the petal epidermal cell cuticle. **Journal of the Royal Society Interface**, (S. l.), v. 20, n. 206, p. 20230001, 2023. DOI: https://doi.org/10.1098/rsif.2023.0001.
28. GROSSE-JENSEN, S.; LIRA, C. M.; HEIDLER, C.; et al. Systematic analysis of some Astereae (Asteraceae) species by integrating pollen morphology and molecular evidence. **Frontiers in Plant Science**, London, v. 14, p. 1558995, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1558995.
29. ROWLEY, L. J.; TRITTEL, S.; BØHN, S. K.; et al. Pollen-derived lipids can play a role in allergic airway inflammation. **Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice,** (S. l.), v. 10, n. 4, p. 823–830, 2021. Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6297749/. Acesso em 14 de agosto de 2025
30. HAN, L.; WANG, J.; SUN, J.; et al. Spines vs. microspines: an overview of the sculpture exine in selected basal and derived Asteraceae with focus on Asteroideae. **Plants**, (S. l.), v. 246, n. 1, p. 45–58, 2017. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28534179/. Acesso em 10 de agosto de 2025.

31. GONÇALVES-TREVISOLI, E. D. V. et al. Produtos fitossanitários não biológicos disponíveis e potenciais para agricultura. In: ÉTICA do cuidado, legislação e tecnologia na agropecuária. Cascavel: UNIOESTE, 2017. p. 163-177. Disponível em: https://www5.unioeste.br/portalunioeste/arq/files/cca/Ciencias_Agrarias_etica_do_cuidado_legislacao_e_tecnologia_na_agropecuaria.pdf#page=163. Acesso em 13 de agosto de 2025.

32. SUN, X. et al. Molecular regulation of petal senescence and strategies to extend flower longevity. *Molecular Horticulture*, v. 1, n. 6, p. 1–12, 2021. DOI: https://doi.org/10.1186/s43897-021-00015-8.

33. FAROOQ, S.; LONE, M. L.; UL, H. A.; PARVEEN, S.; ALTAF, F.; TAHIR, I. Signalling cascades choreographing petal cell death: implications for postharvest quality. *Plant Molecular Biology*, v. 114, n. 3, p. 63, 2024. DOI: https://doi.org/10.1007/s11103-024-01449-6.

34. LU, J. et al. Proteome and ubiquitome changes during rose petal senescence. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 20, n. 24, p. 6108, 2019. DOI: https://doi.org/10.3390/ijms20246108.

DESENVOLVIMENTO DE BEBIDAS ALCOÓLICAS A PARTIR DE CASCAS DE CAFÉ TIPO ARÁBICA POR INFUSÃO A FRIO

DEVELOPMENT OF ALCOHOLIC BEVERAGES FROM ARABICA COFFEE HULLS BY COLD INFUSION

DOI: 10.65747/conali2025v3c23

Matheus Antônio da Costa[1]; Carlos Henrique Ferreira de Oliveira[2]; Camile de Melo Silva Nascimento[3]; Marteson Cristiano dos Santos Camelo[4]; Suzana Pedrosa da Silva[5].

[1]Estudante do Curso de Engenharia de Alimentos – UFAPE; [2]Estudante do Curso de Engenharia de Alimentos – UFAPE; [3]Estudante do Curso de Engenharia de Alimentos – UFAPE; [4]Docente – UFAPE; [5]Docente – UFAPE;
Contato: eng.matheus97@gmail.com

Resumo: A busca por alternativas sustentáveis e inovadoras na indústria de bebidas tem incentivado o aproveitamento de subprodutos agroindustriais, como a casca de café arábica (Coffea arabica), rica em compostos bioativos, para o desenvolvimento de produtos diferenciados. Este trabalho teve como objetivo elaborar e caracterizar físico-quimicamente uma cerveja artesanal do estilo American Pale Ale (APA), aromatizada com extrato da casca de café obtido por infusão a frio. O processo de produção foi conduzido no Laboratório de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, utilizando maltes, lúpulo, levedura, água mineral e diferentes concentrações de extrato da casca (10 mL, 20 mL tratados por pasteurização), comparadas a uma amostra controle. As cervejas foram submetidas a análises de pH, acidez titulável, sólidos solúveis totais, compostos fenólicos e extrato real, com dados tratados no software Sisvar®. Os resultados demonstraram que o extrato de casca de café não alterou significativamente o pH, o amargor e os sólidos solúveis, mas promoveu aumento relevante na concentração de compostos fenólicos, conferindo maior potencial antioxidante às formulações experimentais. Entre as amostras, a formulação intermediária (C1 – 10 mL) apresentou melhor desempenho na incorporação de compostos sólidos. Conclui-se que a adição de casca de café representa uma alternativa promissora para o desenvolvimento de cervejas artesanais com valor agregado, conciliando inovação, funcionalidade e sustentabilidade.

Palavras–chave: Cerveja artesanal; Casca de café; Infusão a frio; Compostos fenólicos; Sustentabilidade.

Abstract: The search for sustainable and innovative alternatives in the beverage industry has encouraged the use of agro-industrial byproducts, such as Arabica coffee husks (Coffea arabica), rich in bioactive compounds, to develop differentiated products. This study aimed to develop and characterize, physically and chemically, an American Pale Ale (APA)-style craft beer flavored with coffee husk extract obtained through cold infusion. The production process was conducted at the Food Science and Technology Laboratory of the Federal University of Agreste de Pernambuco, using malts, hops, yeast, mineral water, and different concentrations of husk extract (10 mL, 20 mL treated with pasteurization), compared to a control sample. The beers were subjected to analyses for pH, titratable acidity, total soluble solids, phenolic compounds, and true extract, with data processed using Sisvar® software. The results showed that coffee husk extract did not significantly alter pH, bitterness, or soluble solids, but it did significantly increase the concentration of phenolic compounds, conferring greater antioxidant potential to the experimental formulations. Among the samples, the intermediate formulation (C1 – 10 mL) showed the best performance in incorporating solid compounds. It is concluded that the addition of coffee husk represents a promising alternative for the development of artisanal beers with added value, combining innovation, functionality, and sustainability.

Keywords: Craft beer; Coffee husks; Cold infusion; Phenolic compounds; Sustainability.

INTRODUÇÃO

O mercado cervejeiro brasileiro está entre os mais relevantes do mundo, movimentando valores expressivos e com tendência de crescimento contínuo. Estima-se que, em 2025, o setor alcance um faturamento de aproximadamente US$ 53 bilhões, sendo US$ 20,6 bilhões provenientes do consumo em domicílios e US$ 32,4 bilhões relacionados ao consumo fora do lar (1). Em termos de volume, a projeção é de cerca de 16,4 bilhões de litros consumidos no mesmo período, distribuídos em 7,85 bilhões de litros em casa e 8,54 bilhões fora (1). O Brasil também ocupa posição de destaque no cenário global, sendo o terceiro maior mercado de cerveja do mundo, com consumo anual estimado em 14,9 bilhões de litros, o que representa aproximadamente 7,8% do total mundial (2). Além disso, projeções indicam que até 2028 o consumo deve crescer em quase 2 bilhões de litros adicionais, atingindo 15,8 bilhões de litros, o que representa um aumento de 8,2% em relação a 2024 (3).

O processo de produção da cerveja envolve uma série de etapas tecnológicas que transformam os ingredientes básicos em uma bebida fermentada com características sensoriais próprias. Inicialmente, ocorre a mosturação, etapa em que o malte é triturado e misturado à água, permitindo a ação enzimática responsável pela conversão do amido em açúcares fermentáveis. Em seguida, o mosto é submetido à fervura com lúpulo, que contribui para a estabilidade microbiológica, amargor e aroma característicos da cerveja. Após o resfriamento, o mosto é encaminhado para a fermentação, onde leveduras metabolizam os açúcares, produzindo etanol e dióxido de carbono. Concluída essa etapa, a cerveja passa pela maturação, na qual ocorre a estabilização e o desenvolvimento do perfil sensorial final, seguida do envase em condições controladas. Cada uma dessas fases é determinante para a qualidade físico-química e sensorial da bebida, exigindo rigoroso controle tecnológico (4).

A crescente preocupação com a sustentabilidade, aliada à busca por inovação e qualidade sensorial, tem impulsionado a indústria de bebidas a explorar alternativas que conciliem funcionalidade, diferenciação de mercado e responsabilidade ambiental. Nesse contexto, a utilização de resíduos agroindustriais como matéria-prima para a produção de bebidas alcoólicas artesanais tem se destacado como uma estratégia promissora, por agregar valor à subprodutos e, ao mesmo tempo, contribuir para a redução de impactos ambientais decorrentes do descarte inadequado (5).

O Brasil, reconhecido como um dos maiores produtores e exportadores de café do mundo, gera anualmente grandes quantidades de resíduos durante o processamento, entre eles a casca do grão, que apesar de abundante ainda é subutilizada pela indústria. Estudos têm demonstrado

que a casca de café arábica (Coffea arabica) apresenta composição de interesse tecnológico e nutricional, contendo polifenóis, cafeína e açúcares fermentáveis, que podem ser aproveitados em processos fermentativos, favorecendo a elaboração de bebidas alcoólicas diferenciadas, com maior valor agregado e potencial funcional (5).

Paralelamente, a técnica de infusão a frio, também conhecida como *cold brew*, tem conquistado espaço tanto na indústria quanto entre consumidores por preservar compostos sensoriais e bioativos, além de conferir características únicas à bebida final. Esse processo consiste na extração de compostos solúveis em água fria durante períodos prolongados, geralmente entre 12 e 48 horas, resultando em um produto com menor acidez e maior suavidade em comparação aos métodos convencionais de extração a quente (6). Essa técnica, quando associada à aplicação de resíduos agroindustriais, como a casca do café, amplia as possibilidades de desenvolvimento de bebidas inovadoras e funcionais.

A American Pale Ale (APA), estilo de cerveja artesanal caracterizado por seu equilíbrio entre malte e lúpulo, que apresenta notas sensoriais cítricas e florais. A incorporação de ingredientes não convencionais nesse tipo de cerveja pode não apenas diversificar o perfil sensorial, mas também agregar valor nutricional e funcional. Pesquisas anteriores já apontaram que a utilização de resíduos agroindustriais na produção de cervejas artesanais promove melhorias em parâmetros físico-químicos e sensoriais, evidenciando o potencial dessa prática para inovação no setor (7).

Os aditivos em cervejas são substâncias adicionadas intencionalmente durante o processo de produção com o objetivo de melhorar a qualidade sensorial, a estabilidade físico-química ou a conservação do produto. Entre os mais comuns estão estabilizantes, antioxidantes, clarificantes e conservantes, que atuam diretamente na manutenção da cor, sabor e aroma, além de prolongarem a vida de prateleira da bebida. Embora a legislação brasileira permita o uso controlado de determinados aditivos, a sua aplicação deve sempre respeitar limites estabelecidos, visando garantir a segurança do consumidor e a autenticidade do produto. Ademais, em cervejas artesanais, a utilização de aditivos é frequentemente reduzida, uma vez que muitos produtores priorizam a utilização de ingredientes naturais e técnicas tradicionais de fabricação (8).

Neste trabalho foi desenvolvida uma cerveja artesanal do estilo APA, utilizando cascas de café arábica como ingrediente funcional. A extração dos compostos bioativos presentes nas cascas foi realizada por meio da técnica de infusão a frio, aplicada diretamente nas garrafas após o envase, com o objetivo de maximizar a transferência de compostos desejáveis à bebida final. Essa abordagem busca não apenas a valorização de resíduos agroindustriais, mas também a criação de um produto diferenciado, alinhado às tendências de consumo consciente e sustentável (6,7).

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo desenvolvimento de uma cerveja APA utilizando a casca de café como aditivo em uma infusão a frio. Para caracterizar a cerveja obtida

bem como avaliar o potencial desse ingrediente como aditivo funcional na formulação de cervejas artesanais, serão realizadas análises físico-químicas e sensoriais.

MATERIAL E MÉTODOS

Para o alcance dos resultados propostos, a pesquisa foi estruturada em quatro etapas principais contemplando a seleção e preparo dos insumos, a formulação da cerveja experimental, a condução do processo produtivo e, por fim, a realização das análises laboratoriais. Todas as etapas foram conduzidas nas dependências da Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE), assegurando o rigor técnico e científico necessários ao desenvolvimento da investigação.

Obtenção dos insumos

A matéria prima utilizada na elaboração da cerveja aromatizada com as cascas do café compreende Malte Pilsen, Malte Munich Light, Lúpulo Columbus, Leveduras para cerveja, água potável e essencialmente, as cascas do café.

Os maltes, o lúpulo e as leveduras foram adquiridos por meio de estabelecimentos especializados em insumos cervejeiros na cidade de Recife/PE. A água usada no processo foi obtida por meio de garrafões de 20 litros de água mineral, adquiridos em fornecedores locais situados na cidade de Garanhuns-PE.

Foram utilizadas amostras de cascas de café (*Coffea arábica typica*) processadas por secagem natural para aromatização da cerveja, as quais foram doadas por produtores de café da região de Garanhuns.

Formulação da cerveja experimental

A formulação da cerveja experimental foi baseada nas diretrizes do estilo American Pale Ale (APA), conforme descrito por Costantin (9) e Lovatel (10). Para a condução do estudo, foram elaborados três ensaios distintos: uma amostra controle (C_T), produzida sem a adição de extrato de casca de café, e três amostras experimentais, denominadas C_1 e C_2, suplementadas com extratos de cascas de café nas dosagens de 10 mL, 20 mL. O cálculo do Índice de Amargor Internacional (IBU) foi estimado através do software BrewFather versão 2.11.6.

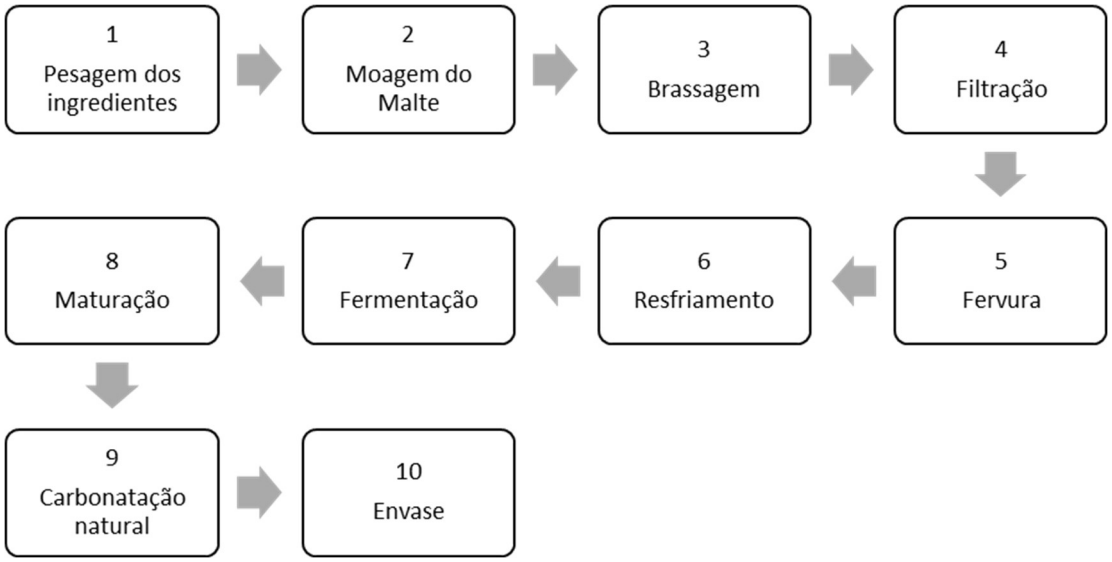
A produção foi realizada em um único lote de 30 litros, com o objetivo de garantir a uniformidade do processo e das características da base da cerveja. Após a etapa de resfriamento, o lote foi dividido em três partes iguais para a etapa de fermentação. A amostra controle (C_T) foi engarrafada sem a adição do extrato de cascas de café. Já as amostras experimentais receberam

diferentes dosagens do extrato diretamente em cada garrafa: a Cerveja 1 (C_1) recebeu 10 mL de extrato por garrafa, enquanto a Cerveja 2 (C_2) recebeu 20 mL por garrafa. Esse fracionamento permitiu avaliar de forma comparativa os efeitos e possíveis variações físico-químicas entre as diferentes concentrações do extrato, mantendo constante toda a base do processo produtivo.

Produção da cerveja

A produção da cerveja foi realizada no Laboratório de Fenômenos de Transporte e Operações Unitárias, no LACTAL. As fases de produção das cervejas seguiram o seguinte fluxograma mostrado na Figura 1.

Figura 01 – Fluxograma de preparo das cervejas artesanais.

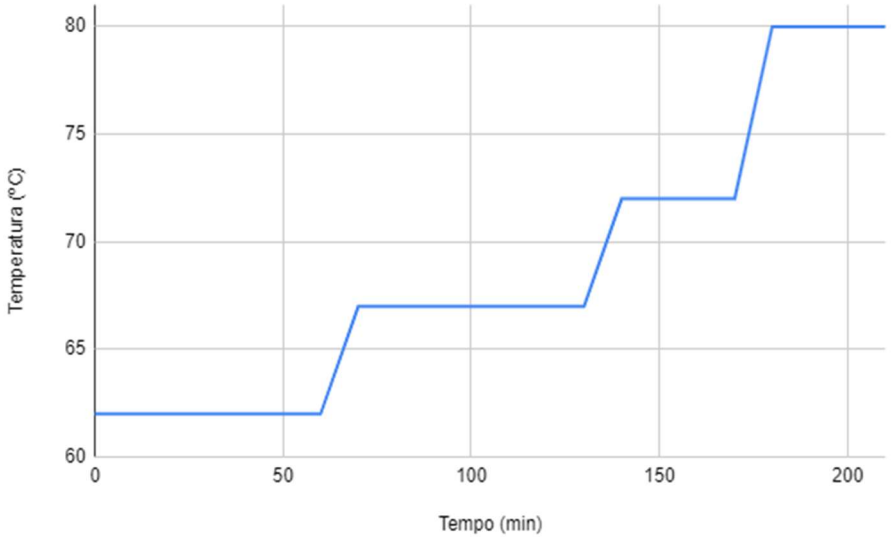


Fonte: Adaptada de Palmer, 2015.

O processo de produção da cerveja iniciou-se na moagem do malte, para tanto utilizou-se um moedor de rolos, equipado com um funil e dois rolos. Esta etapa é crucial para a quebra do grão e exposição de sua reserva de amido, que será convertida em açúcares mais simples, mantendo também a integridade de suas cascas que atuarão como um filtro natural na etapa de recirculação e filtragem do mosto.

Na etapa de brassagem utilizou-se uma panela automática do tipo single vessel, com capacidade de 30 litros. Inicialmente colocou-se na panela 20 litros de água mineral. Ao alcançar a temperatura de 55 ºC realizou-se a inclusão do malte moído. A sequência de elevação de temperatura seguiu o seguinte padrão: 64 ºC por 60 minutos, 67 ºC por 60 minutos, 72 ºC por 20 minutos e, por fim, 80 ºC por 30 minutos, sendo estes representados na Figura 2.

Figura 2 – Perfil de tempo e temperatura da mosturação.



Fonte: Autor (2023).

Durante a etapa de mosturação, foram realizados testes com solução de iodo a 2% para verificar a conversão completa do amido em açúcares fermentáveis. Também foram monitorados os sólidos solúveis totais com o auxílio de um refratômetro digital, além do controle da temperatura da mistura por meio de um termômetro digital. Finalizada a mosturação, iniciou-se a recirculação do mosto dentro da própria panela, com o intuito de promover sua filtragem. Posteriormente, foi adicionada água aquecida para a etapa de lavagem do malte, a fim de garantir a máxima extração dos açúcares residuais. Após essa etapa, os resíduos sólidos foram descartados com o auxílio do cesto de grãos, e o líquido seguiu para a fase de fervura.

Na fervura, procedeu-se à adição do lúpulo, ingrediente responsável por conferir o amargor típico da cerveja. Essa fase foi conduzida a uma temperatura constante de 100 ºC por 50 minutos. Para resfriar o mosto ao final da fervura, utilizou-se um trocador de calor do tipo placas, empregando água em temperatura ambiente como fluido de resfriamento.

A fermentação foi conduzida em baldes fermentadores com capacidade para 20 litros, mantidos sob temperatura controlada de 19 ºC. Durante esse período, foram realizadas medições de densidade e análises dos sólidos solúveis para monitorar o avanço do processo fermentativo. Concluída a fermentação, a bebida foi encaminhada para a fase de maturação, realizada a 4 ºC durante 7 dias, permitindo a clarificação natural da cerveja e a sedimentação da levedura residual.

A extração dos compostos fenólicos da casca do Coffea arabica L. foi adaptada com base no protocolo proposto por Sá et al. (11), o material vegetal foi inicialmente seco em estufa com ventilação forçada a 40 °C durante 24 horas, sendo posteriormente triturado. Em seguida, as cascas foram inseridas em água mineral sob agitação de 200 rpm por 24h, a mistura foi coada e após esta etapa, exposta ao fluxo de luz UV por 10 minutos para descontaminação. Já a segunda produção,

do extrato, utilizado apenas na cerveja 3, utilizou-se como método de descontaminação a pasteurização.

Após a extração dos compostos fenólicos foi realizado o envase das cervejas em garrafas de 600 mL, durante o envase o extrato foi adicionado as cervejas junto ao açúcar utilizado no processo de priming. Segundo Teleginski *et al.* (12), essa técnica consiste na adição de 6 mL de uma solução de água com açúcar em cada garrafa, estimulando a refermentação e promovendo a carbonatação natural da bebida pelas leveduras ainda presentes. Após um período de 15 dias de refermentação, a cerveja foi considerada pronta para as análises finais.

Análises físico-química nas cervejas

Nas amostras de cerveja finalizadas foram realizadas análises físico-químicas essenciais para a caracterização da bebida, contemplando parâmetros de qualidade e estabilidade. A determinação do pH foi conduzida por meio de potenciômetro devidamente calibrado, visto que esse parâmetro influencia diretamente a percepção sensorial, a estabilidade microbiológica e a eficiência de processos como fermentação e maturação. A acidez total titulável (%) foi avaliada por titulação, parâmetro relevante para verificar o equilíbrio químico da bebida e sua influência nas características de sabor e conservação. Os sólidos solúveis totais foram mensurados por refratometria digital, expressos em °Brix, permitindo avaliar o teor residual de açúcares fermentáveis e não fermentáveis, diretamente relacionados ao corpo e dulçor da cerveja. Além disso, foi quantificada a concentração de compostos fenólicos totais, indicadores importantes da presença de antioxidantes provenientes da casca de café, associados tanto ao potencial funcional da bebida quanto à sua estabilidade química. O extrato real também foi determinado, refletindo o conteúdo de substâncias sólidas dissolvidas na cerveja e sua contribuição para a densidade e perfil sensorial. Todas as análises foram conduzidas em triplicata, garantindo maior confiabilidade e precisão dos resultados obtidos, e seguiram rigorosamente os protocolos recomendados pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL), referência em métodos analíticos de alimentos e bebidas. Ressalta-se ainda que as amostras foram previamente descarbonatadas, a fim de eliminar a interferência do dióxido de carbono nos resultados, e mantidas em temperatura ambiente controlada durante as medições, assegurando a padronização das condições experimentais.

Análise dos dados

Os resultados obtidos nas análises físico-químicas das diferentes formulações de cerveja foram submetidos a tratamento estatístico com o auxílio do software Sisvar® (versão 6.7), ferramenta amplamente utilizada em pesquisas experimentais para análise de dados em ciências agrárias e de alimentos. Para verificar diferenças significativas entre as amostras formulação

controle e formulações adicionadas de extrato da casca de café, foi aplicado o teste de comparação de médias, considerando um nível de significância de 5% de probabilidade ($p < 0,05$). Esse procedimento estatístico possibilitou avaliar a influência da adição do extrato sobre os parâmetros físico-químicos analisados, assegurando maior confiabilidade na interpretação dos resultados. A aplicação da estatística inferencial é fundamental nesse tipo de estudo, pois permite validar se as variações observadas decorrem, de fato, da presença do ingrediente funcional ou se podem ser atribuídas ao acaso, conferindo maior rigor científico à pesquisa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises realizadas tiveram como objetivo caracterizar físico-quimicamente a cerveja experimental do estilo *American Pale Ale* (APA), aromatizada com cascas de café. Conforme descrito por Costantin (9), a *American Pale Ale* constitui uma subcategoria das *Pale Ales*, apresentando coloração que varia do dourado ao âmbar claro, sendo caracterizada pelo uso de lúpulos e maltes americanos, os quais conferem aroma pronunciado, leve dulçor e notas distintas.

Tabela 1: Análises físico-químicas na cerveja

Parâmetro	C_T	C_1	C_2
pH	4,36[a]	4,34 [a]	4,37 [a]
IBU	29 [a]	29 [a]	29 [a]
SST (ºBrix)	4,40 [a]	4,34 [a]	4,37 [a]
Acidez (%)	0,32 [a]	0,30 [a]	0,30 [a]
Fenólicos	31,56 [b]	40,96 [a]	39,01 [a]
Extrato Real	0,36 [b]	0,45 [a]	0,35 [c]

Notas: C_T – Controle; C_1 – Cerveja 1; C_2 – Cerveja 2. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor (2025).

Após análise dos resultados da Tabela 1, é possível verificar que não houve diferença estatística significativa no pH entre as três formulações indicando que a adição do extrato não alterou significativamente a acidez da bebida. De França Andrade et al. (13) afirmam que extratos

fenólicos oriundos da casca de café têm baixo impacto no pH final de matrizes alimentícias, mesmo quando aplicados em concentrações relevantes para efeito antioxidante.

O índice de amargor (IBU) manteve-se constante em 29 para todas as formulações testadas, incluindo a cerveja controle e as amostras com adição de extrato fenólico da casca de café. Em seus estudos, De Francesco et al. (14) relataram que, apesar do aumento na concentração de compostos fenólicos, a adição desses extratos não alterou significativamente o perfil de amargor da cerveja, sugerindo que os compostos fenólicos presentes não influenciaram o índice de amargor, especialmente quando adicionados em concentrações controladas. Além disso, a literatura sobre a produção de cerveja indica que o amargor é principalmente influenciado pelos ácidos iso-alfa do lúpulo, responsáveis pela característica amarga da bebida (15). Essa estabilidade pode ser explicada pela concentração utilizada e pelo momento de adição do extrato durante o processo de produção, o qual pode ter limitado a extração ou retenção de compostos amargos no produto. Além disso, é possível que os compostos fenólicos presentes não tenham interagido diretamente com os α-ácidos responsáveis pelo amargor típico conferido pelo lúpulo, preservando o perfil sensorial tradicional da cerveja.

As variações entre C_T (4,40 °Brix), C_1 (4,34 °Brix) e C_2 (4,37 °Brix) foram pequenas. Esses resultados indicam que o extrato de casca de café não alterara de forma significativa os sólidos solúveis totais da bebida. Segundo Baqueta et al. (16), extratos obtidos da casca de café têm baixo teor de açúcares solúveis, o que explica a estabilidade nos valores de SST.

A acidez titulável diminuiu levemente nas amostras C_1 e C_2 (0,30%) em relação à CT (0,32%). Esta diferença na acidez pode estar relacionada à capacidade antioxidante do extrato fenólico, que pode inibir reações oxidativas associadas à formação de compostos ácidos. Palomino García e Del Bianchi (17) destacam que a fermentação de casca de café pode gerar extratos com elevada estabilidade química.

A concentração de compostos fenólicos totais foi maior nas amostras C_1 (40,96 mg EAG/L) e C_2 (39,01 mg EAG/L), em comparação com a cerveja controle C_T (31,56 mg EAG/L). Isso demonstra que o extrato contribui significativamente para o aumento desses compostos na bebida. Segundo Palomino García e Del Bianchi (18), a casca de café é uma fonte rica em ácido clorogênico, cafeico e ferúlico, os quais possuem reconhecida atividade antioxidante, além disso, também demonstraram que extratos da casca de café são eficazes para enriquecer alimentos e bebidas com compostos bioativos.

A amostra C_1 apresentou um valor de extrato real maior do que C_T e C_2. A concentração intermediária do extrato parece favorecer a incorporação de compostos sólidos, enquanto uma maior quantidade pode promover precipitação ou interações negativas com a matriz da cerveja. De França Andrade et al. (13) relatam que a concentração de compostos bioativos pode influenciar a estabilidade físico-química de bebidas fermentadas.

CONCLUSÕES

É possível observar que as diferentes concentrações e métodos de adição do extrato de casca de café influenciaram os parâmetros físico-químicos e a composição bioativa das cervejas, sendo que a formulação intermediária C_1 apresentou melhor desempenho na incorporação de compostos fenólicos, uma vez que mesmo essa formulação tendo utilizado uma quantidade menor de extrato, 10ml, houve maior concentração de fenólicos.

Assim, conclui-se que o uso de extrato de casca de café pode ser uma estratégia promissora para o desenvolvimento de cervejas com valor agregado, tanto sob o ponto de vista funcional quanto sensorial, desde que sejam considerados os efeitos da concentração na estabilidade da matriz.

REFERÊNCIAS

1. STATISTA. *Beer - Brazil*. Statista Market Insights. 2025. Disponível em: https://www.statista.com/outlook/cmo/alcoholic-drinks/beer/brazil. Acesso em: 05 set. 2025.
2. FATOR RRH. *Brasil consome 14,9 bilhões de litros de cerveja por ano, mas não lidera o ranking global*. 2025. Disponível em: https://fatorrrh.com.br/2025/05/25/brasil-consome-149-bilhoes-de-litros-de-cerveja-por-ano-mas-nao-lidera-o-ranking-global-veja-a-lista/. Acesso em: 05 set. 2025.
3. PORTAL TELA. *Crescimento do consumo de cerveja no Brasil pode alcançar 2 bilhões de litros até 2028*. 2024. Disponível em: https://www.portaltela.com/economia/brasil/2024/12/04/crescimento-do-consumo-de-cerveja-no-brasil-pode-alcancar-2-bilhoes-de-litros-ate-2028/. Acesso em: 05 set. 2025.
4. BRIGGS, D. E.; BOULTON, C. A.; BROOKES, P. A.; STEVENS, R. **Brewing: Science and Practice**. Boca Raton: Woodhead Publishing, 2004.
5. FREITAS, W. L. C. Estudo da casca de café como matéria-prima em processos fermentativos. 2015. 139 f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/97/97132/tde-25022016-094951/pt-br.php.
6. SILVA, I. A.; VERÍSSIMO, C. M.; ARRUDA, L. L. A. L. *Cold brew* como tendência: principais variáveis que impactam na composição da bebida. Em: **A indústria de alimentos e a economia circular: alimentando uma nova consciência**. (s.l.) *Agron Food Academy*, 2021.
7. CHACÓN-FIGUEROA, I. H. *et al. Use of coffee bean bagasse extracts in the brewing of craft beers: Optimization and antioxidant capacity.* ***Molecules (Basel, Switzerland)***, v. 27, n. 22, p. 7755, 2022.
8. BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 273, de 22 de setembro de 2005**. Aprova o regulamento técnico sobre aditivos permitidos para a fabricação de cervejas. Diário Oficial da União, Brasília, 2005.
9. COSTANTIN, Francini Aparecida Barreto; Produção E Caracterização De Cerveja Artesanal Estilo American Pale Ale Adicionada De Zimbro (*Juniperus communis*). Orientador: Profa. Dra. Renata Dinnies Santos Salem. 2022. 61 p. Dissertação (Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, PONTA GROSSA, 2022.
10. LOVATEL, A.C. Comparação Físico-Química De Cervejas American Pale Ale Produzidas Com e Sem Enzimas de *Aspergillus Niger*. Orientador: Drª. Leilane Costa De Conto. 2021.

20 P. Trabalho De Conclusão De Curso (Especialista Em Tecnologia De Bebidas Alcoólicas) - Instituto Federal De Educação, Ciência E Tecnologia De Santa Catarina, Câmpus Urupema., Urupema, Sc, 2021. Disponível em: https://repositorio.ifsc.edu.br/handle/123456789/2201.

11. SÁ, D. L. M. DE et al. Métodos de extração de compostos fenólicos da casca melosa do *Coffea arábica L*. **Revista JRG de Estudos Acadêmicos**, v. 7, n. 14, p. e141225, 2024.
12. TELEGINSKI, F.; WECKL, A.; WECKL, A. GUIA PRÁTICO DE PRODUÇÃO PARA CERVEJARIAS. AGRARIA MALTE: (*s. n.*), 2016.
13. DE FRANÇA ANDRADE, Sonja *et al*. Otimização da extração de compostos bioativos da casca do café arábica por ultrassom e seu potencial como fonte de substâncias antioxidantes e aromáticas. ***Scientia Plena***, v. 19, n. 5, 2023.
14. DE FRANCESCO, G. *et al. Effect of addition of different phenolic-rich extracts on beer flavour stability*. ***Foods (*Basel*, Switzerland*)**, v. 9, n. 11, p. 1638, 2020.
15. DE CLIPPELEER, Jessika; DE COOMAN, Luc; AERTS, Guido. *Beer's bitter compounds: a detailed review on iso-alpha-acids: current knowledge of the mechanisms for their formation and degradation. Brewing Science*, v. 67, n. 11–12, p. 167–182, 2014. Disponível em: https://biblio.ugent.be/publication/01H3XY0ZKBP5W4MCD3VJVHMW8K.
16. BAQUETA, M. R. et al. Extração e caracterização de compostos do resíduo vegetal casca de café. ***Brazilian Journal of Food Research***, v. 8, n. 2, p. 68, 2017.
17. PALOMINO GARCÍA, L. R.; DEL BIANCHI, V. L. Efeito da fermentação fúngica no teor de compostos fenólicos em casca de café robusta. **Semina. Ciencias agrarias**, v. 36, n. 2, p. 777, 2015b.
18. PALOMINO GARCÍA, L. R.; DEL BIANCHI, V. L. Capacidade antioxidante em resíduos da indústria cafeeira. ***Brazilian journal of food technology***, v. 18, n. 4, p. 307–313, 2015a.

DESENVOLVIMENTO DE COCADA COM BAIXO ÍNDICE GLICÊMICO AGREGANDO VALOR DAS COCADAS PRODUZIDAS NO AGRESTE MERIDIONAL DE PERNAMBUCO

DEVELOPMENT OF COCONUT CANDY WITH A LOW GLYCEMIC INDEX, ADDING VALUE TO COCONUT CANDY PRODUCED IN THE SOUTHERN AGRESTE OF PERNAMBUCO

DOI: 10.65747/conali2025v3c24

Denielly Reis Silva[1]**; Luciares Costa de Araújo**[2]

[1]Estudante do Curso de Engenharia de Alimentos - UFAPE; [2]Docente/pesquisador do Depto de Engenharia de Alimentos – UFAPE

E-mail: denielly.reisuf@gmail.com

Resumo: A cocada é um doce tradicional amplamente consumido, cuja formulação convencional é rica em sacarose, o que representa um risco para populações com restrições ao consumo de açúcares. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo desenvolver formulações de cocada com substituição total da sacarose por açúcar de coco, bem como incorporar ingredientes funcionais como albedo de maracujá e polpa de maçã, buscando reduzir o índice glicêmico do produto. Foram elaboradas três formulações: uma padrão e duas modificadas, variando-se a composição dos ingredientes. O processamento incluiu preparo dos ingredientes, cocção padronizada e envase, seguido por análises físico-químicas (atividade de água, umidade, pH, acidez titulável e sólidos solúveis), conforme metodologia do Instituto Adolfo Lutz. Os resultados revelaram que as formulações com adição de albedo e polpa de maçã apresentaram maiores teores de umidade (49,3% e 52,2%) e atividade de água (0,95 e 0,96), além de menor teor de sólidos solúveis (34–35 °Brix), o que favoreceu o desenvolvimento de bolores após uma semana em temperatura ambiente. A formulação padrão, por sua vez, apresentou maior concentração de sólidos solúveis (57 °Brix) e melhor estabilidade microbiológica. Conclui-se que a substituição da sacarose por ingredientes de menor índice glicêmico é tecnicamente viável e permite o desenvolvimento de uma cocada com potencial funcional, desde que se adotem medidas complementares para melhorar a conservação do produto.
Palavras–chave: albedo de maracujá; alimentos funcionais; cocada; índice glicêmico; polpa de maçã

Abstract: Coconut candy is a widely consumed traditional sweet, whose conventional formulation is rich in sucrose, which poses a risk for populations with restrictions on sugar consumption. In this context, this study aimed to develop coconut candy formulations with total replacement of sucrose by coconut sugar, as well as incorporating functional ingredients such as passion fruit albedo and apple pulp, seeking to reduce the glycemic index of the product. Three formulations were developed: one standard and two modified, varying the composition of the ingredients. The processing included preparation of the ingredients, standardized cooking and packaging, followed by physical-chemical analyses (water activity, moisture, pH, titratable acidity and soluble solids), according to the methodology of the Adolfo Lutz Institute. The results revealed that the formulations with the addition of albedo and apple pulp presented higher moisture contents (49.3% and 52.2%) and water activity (0.95 and 0.96), in addition to lower soluble solids content (34–35 °Brix), which favored the development of molds after one week at room temperature. The standard formulation, in turn, presented a higher concentration of soluble solids (57 °Brix) and better microbiological stability. It is concluded that the replacement of sucrose by ingredients with a lower glycemic index is technically feasible and allows the development of a coconut candy with functional potential, provided that complementary measures are adopted to improve the conservation of the product.

Keywords: passion fruit albedo; functional foods; coconut candy; glycemic index; apple pulp.

INTRODUÇÃO

O coco (*Cocos nucifera*) destaca-se por seu alto teor de fibras alimentares, as quais exercem papel fundamental no controle da glicemia, promovendo a saciedade e contribuindo para a melhora do funcionamento intestinal (1), e as fibras insolúveis presentes no coco favorecem a função intestinal, enquanto as fibras solúveis auxiliam na redução da absorção de glicose, sendo especialmente benéficas para pessoas com diabetes (2). O coco é um produto com um recurso de grande importância econômica para a agricultura, visto que o Brasil ocupa a quarta posição entre os maiores produtores mundiais de coco, com o Nordeste sendo a principal região produtora (3). O aproveitamento do coco e seus derivados, como o açúcar de coco, contribui para agregar valor à cadeia produtiva, promovendo benefícios econômicos e ambientais.

A cocada é um doce tradicional que tem como principais ingredientes sacarose e coco ralado (4,5), esse doce pode ter inúmeras combinações que diversificam seus sabores, partindo da mistura tradicional ou com acréscimo de frutas (6,7). No entanto, o elevado teor de açúcar presente nesse doce representa um risco à saúde, visto que, segundo o Ministério da Saúde (8), o Brasil é o 5º país em incidência de diabetes no mundo, com 16,8 milhões de adultos afetados (20 a 79 anos), atingindo 10,2% da população brasileira. Esse alto valor na incidência de diabetes ressalta a importância de moderar o consumo de alimentos ricos em açúcares e buscar alternativas mais saudáveis.

O índice glicêmico (IG) foi criado para classificar os alimentos fontes de carboidrato com base na sua capacidade de aumentar a glicose sanguínea. Estudos têm mostrado que dietas de baixo IG geram benefícios no controle glicêmico de pacientes diabéticos (9). Portanto, a consideração do IG na seleção de alimentos é uma estratégia relevante para a promoção da saúde metabólica seguindo tendências mundiais — dieta low carb; paleolítica; sem leites ou lactose; de baixo índice glicêmico.

Nos últimos anos, o conceito de alimentos funcionais ganhou destaque tanto na indústria alimentícia quanto nas ciências agrárias. Entre os alimentos que se enquadram nesse segmento estão aqueles que contêm um ou mais ingredientes com propriedades benéficas à saúde (10). Nesse contexto, a crescente preocupação com a alimentação saudável tem impulsionado pesquisas voltadas à substituição da sacarose por adoçantes naturais com menor impacto glicêmico, como alternativa viável na formulação de produtos alimentícios. Um exemplo é o açúcar de coco, obtido por meio de colheita artesanal e práticas agrícolas sustentáveis. Por ser um adoçante natural com baixo índice glicêmico, ele representa uma opção mais saudável em comparação aos açúcares refinados, além de fornecer minerais e compostos bioativos com propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias (5). Além disso, o aumento no consumo de produtos derivados do coco tem sido favorecido por dietas low-carb e por tendências alimentares voltadas à promoção da saúde (11).

Outro ingrediente funcional de interesse neste estudo é a pectina, um polissacarídeo encontrado em uma variedade de frutas e vegetais. Tem potencial atividade anti diabética juntamente com outras atividades biológicas, incluindo propriedades de redução do colesterol, atividade antioxidante, efeitos anti-inflamatórios e imunomoduladores entre outros benefícios à saúde (12). É amplamente utilizada na indústria de alimentos devido às suas propriedades gelificantes e espessantes, sendo retiradas comumente de matérias-primas como bagaço de maçã e cascas de frutas cítricas, por exemplo o maracujá.

A maçã (*Malus domestica Borkh*) é um fruto pomáceo da família Rosaceae, amplamente cultivado em regiões de clima temperado. A maçã é uma rica fonte de moléculas nutricionais e contém altos níveis de compostos bioativos. Dentre as principais classes estruturais dos constituintes da maçã incluem polifenóis e polissacarídeos (pectina) (13). Sua polpa é amplamente utilizada na indústria alimentícia, sendo empregada no desenvolvimento de produtos funcionais devido às suas propriedades nutricionais e tecnológicas.

O maracujá (*Passiflora edulis Sims*) é um fruto tropical pertencente à família Passifloraceae, amplamente cultivado em regiões de clima tropical e subtropical. Caracteriza-se por sua polpa suculenta, aromática e rica em compostos bioativos, como flavonóides e carotenóides, além de apresentar alto teor de fibras solúveis. Seu albedo, parte esbranquiçada da casca do maracujá, normalmente descartada pela indústria de sucos, é uma fonte promissora por possui de 2,0% a 3,0% em base úmida de pectina podendo atuar com fibra solúvel que auxilia na redução dos níveis de glicose no sangue (14) , sendo estudado para aplicações em formulações alimentares funcionais, o aproveitamento do albedo não só promove a sustentabilidade ao minimizar o desperdício industrial, mas também melhora o perfil nutricional dos alimentos, adicionando componentes bioativos que são benéficos à saúde.

O presente estudo teve como objetivo desenvolver uma cocada de baixo índice glicêmico, substituindo o açúcar tradicional pelo açúcar de coco e incorporando albedo de maracujá e polpa de maçã. O foco foi avaliar a viabilidade técnica de integrar componentes nutricionalmente relevantes sem comprometer a qualidade sensorial e a tradição desse doce nordestino. Vale notar que não foram realizadas análises específicas para quantificar a permanência de compostos bioativos após o processamento térmico.

MATERIAL E MÉTODOS

MATERIAL

Os ingredientes utilizados para o desenvolvimento das formulações da cocada foram adquiridos de fontes locais e devidamente acondicionados para garantir sua qualidade. O coco ralado foi obtido em feiras livres da região, já processado e pronto para uso. Os albedos de maracujá

amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) foram selecionados a partir de frutos em estágio de maturação maduro, identificados pela coloração amarela intensa da casca. As maçãs, assim como o açúcar de coco, foram adquiridas em supermercados da cidade de Garanhuns-PE. Todos os ingredientes, com exceção dos açúcares, foram armazenados em embalagens de polipropileno e mantidos em freezer a -18 °C até o momento da utilização.

As formulações de cocada foram desenvolvidas nos Laboratórios de Frutas e Hortaliças, foram armazenadas no Laboratório Análise Sensorial e as análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de análise de alimentos, ambos vinculados ao SLACTAL, localizado na Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE), campus Garanhuns, PE.

PROCESSAMENTO DO ALBEDO DO MARACUJÁ

Os frutos de maracujá foram inicialmente higienizados por meio de lavagem em água corrente e posterior sanitização com solução clorada a 200 ppm. Em seguida, foram cortados manualmente para a remoção da polpa. As cascas foram cortadas verticalmente e submetidas à cocção sob pressão, por 5 minutos, em recipiente contendo água potável em volume suficiente para cobri-las completamente. Após o cozimento, realizou-se a retirada do flavedo (camada externa de coloração amarela) com o auxílio de uma colher, obtendo-se apenas o albedo (camada interna de coloração levemente amarelada). Para o processo de maceração, os albedos foram imersos em água refrigerada na proporção de 400 g de albedo para 2 L de água, permanecendo nessa condição por 24 horas, com trocas de água realizadas a cada 4 horas, conforme metodologia adaptada de Dias et al. (15). Concluída a maceração, o material foi submetido à drenagem por um período de uma hora. O albedo macerado foi então acondicionado em embalagens plásticas de polipropileno, congelado a -18 °C e mantido sob essas condições até 24 horas antes da realização dos experimentos, momento em que foi transferido para refrigeração visando o descongelamento gradual.

PROCESSAMENTO DA POLPA DE MAÇÃ

As maçãs utilizadas no experimento foram submetidas a um processo de higienização, com lavagem em solução clorada a 200 ppm, seguidas de descascamento manual. Posteriormente, foram raladas com o auxílio de um ralador manual de aço inoxidável, garantindo a uniformidade do processamento. As porções obtidas foram acondicionadas em embalagens de polipropileno com peso padrão de 100 g e armazenadas a -18 °C. O descongelamento foi realizado de forma gradual, mediante transferência das amostras para refrigeração 24 horas antes da aplicação nos experimentos.

PROCESSAMENTO DA COCADA

Foram elaboradas três formulações distintas de cocada como descrito na Tabela 1, com substituição total da sacarose por açúcar de coco, e adição de albedo de maracujá e polpa de maçã. As preparações foram realizadas em panelas de aço inoxidável e auxílio de colher de pau, sendo que cada formulação foi monitorada pelo desenvolvimento da cor e da textura da cocada com relação a formulação padrão, de modo a evitar o escurecimento excessivo ou queima dos ingredientes utilizados nas formulações da cocada, seguindo o fluxograma da produção de cocada (Figura 1). A determinação do ponto de cozimento ocorreu por meio de avaliação visual e sensorial. O critério era a formação de uma massa homogênea que se desprendesse do fundo da panela durante a agitação, acompanhada pelo leve escurecimento da caramelização inicial. Optamos pelo ponto de massa, e não pelo ponto de corte, para atingir a textura plástica e coesa desejada para a cocada.

Após atingirem o ponto ideal de cozimento, foram medidos os sólidos solúveis de cada formulação e as cocadas foram proporcionadas em embalagens plásticas devidamente identificadas e armazenadas à temperatura ambiente, conforme as práticas tradicionais de conservação adotadas para esse tipo de produto.

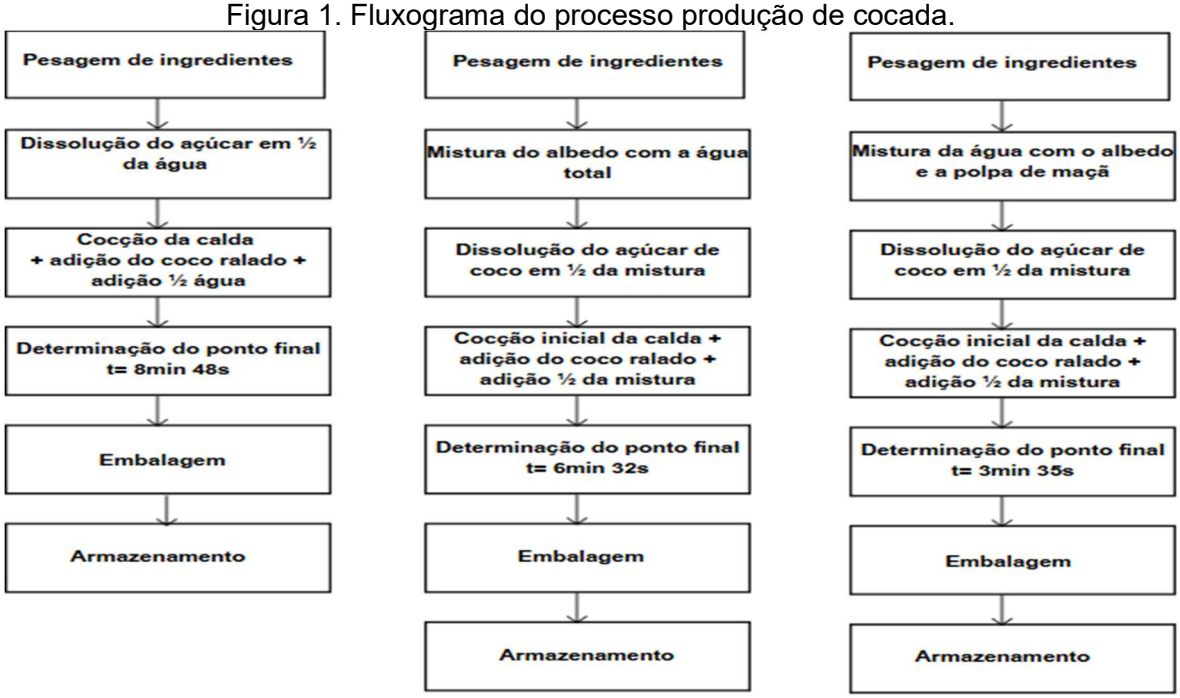
As quantidades de albedo de maracujá e polpa de maçã foram ajustadas para manter a proporção de base úmida (BU) da cocada padrão, servindo como referência. Todos os ingredientes adicionados diferentes à formulação padrão foram equilibrados nesse processo. Esse cuidado permitiu incorporar os ingredientes funcionais sem alterar significativamente as características sensoriais do doce, garantindo comparabilidade entre os testes. A composição detalhada de cada formulação está na Tabela 1.

Tabela 1 – Proporção percentual dos ingredientes utilizados na formulação da cocada.

Ingredientes/Variáveis	**P**	**F1**	**F2**
Formulação (%)			
Coco ralado	35,8	37,5	45,4
Água	46,7	34,9	21,1
Sacarose	17,5	0	0
Açúcar de coco	0	13,7	12,5
Albedo de maracujá	0	13,9	16,9
Polpa de maçã	0	0	4,1
Total	**100**	**100**	**100**
Base Úmida	**64,37**	**67,30**	**34,28**

P:formulação padrão, F1: formulação do pré-teste 1; F2: formulação pré-teste2
Fonte: Autores, 2025

Figura 1. Fluxograma do processo produção de cocada.



P:formulação padrão, F1: formulação do pré-teste 1; F2: formulação pré-2
Fonte: Autores, 2025

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Foram realizadas análises físico-químicas nas formulações de cocada padrão e nos pré-testes 1 e 2, sendo eles: atividade de água, umidade, pH, acidez titulável e todos os procedimentos de análise seguiram a metodologia do (16). Todas as análises foram repetidas três vezes e calculadas média e desvio padrão.

No que concerne às análises realizadas, o processo teve início com a avaliação da atividade de água, conduzida por meio do equipamento Aqualab. Para isso, uma pequena porção de cada amostra foi inserida no aparelho, que forneceu diretamente o valor correspondente à atividade de água do produto.

Em seguida, procedeu-se à análise de umidade, a qual demandou um procedimento mais detalhado. Inicialmente, os cadinhos vazios foram levados à estufa a 105 °C por aproximadamente 35 minutos, sendo posteriormente transferidos para o dessecador, onde permaneceram por cerca de 20 minutos para resfriamento. Após esse período, os cadinhos foram pesados em balança analítica, registrando-se seus respectivos valores. Na sequência, foram adicionadas 2 gramas de cada formulação aos cadinhos, que então retornaram à estufa a 105 °C, permanecendo por um período de 24 horas. Ao final desse tempo, os cadinhos foram novamente transferidos ao dessecador para resfriamento e, posteriormente, pesados mais uma vez. Os valores obtidos foram utilizados para o cálculo da umidade por meio da fórmula específica.

A análise de pH foi realizada a partir da diluição de 5 gramas da amostra em 50 mL de água destilada. A mistura foi homogeneizada com o auxílio de um bastão de vidro e, em seguida, filtrada.

O filtrado foi então submetido à leitura em pHmetro devidamente calibrado, que forneceu o valor diretamente após alguns minutos de estabilização.

Para a determinação da acidez titulável, aproveitou-se a solução diluída e filtrada utilizada na análise de pH. A partir dela, foram retirados 5 mL, diluídos novamente em 50 mL de água destilada e transferidos para um béquer. Posteriormente, adicionaram-se de duas a três gotas de solução de fenolftaleína a 1%, empregada como indicador. A titulação foi conduzida utilizando uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,01 mol/L, que foi adicionada lentamente sob agitação constante com bastão de vidro, até que se observasse o aparecimento de coloração rosa claro persistente por, no mínimo, 30 segundos — ponto final da titulação. Ao término, foi registrado o volume de NaOH consumido para o posterior cálculo da acidez titulável.

Vale salientar que todas as análises físico-químicas foram realizadas em triplicata, a fim de garantir maior precisão e confiabilidade dos dados obtidos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises físico-químicas das formulações de cocada estão apresentados na Tabela 2.

O valor de atividade de água tem grande importância na área de tecnologia de alimentos, permitindo avaliar a suscetibilidade de deterioração dos alimentos (17). Os valores de atividade de água (Aa) para todas as formulações de cocadas estão acima de 0,90, isto indica que há susceptibilidade de crescimento de microrganismos, visto que os valores mínimos para o desenvolvimento de bolores xerofílicos e leveduras osmofílicas e bactérias são de 0,61, 0,61 e 0,9 respectivamente (18).

O teor de umidade constitui-se como um dos parâmetros mais importantes e frequentemente avaliados em alimentos, por estar diretamente relacionado à conservação e à qualidade do produto final, visto que níveis elevados favorecem o crescimento microbiano (19). No presente estudo, os valores médios de umidade observados foram de 30,2% para a cocada padrão P, 49,3% para a formulação F1 e 52,2% para a F2. Os parâmetros encontrados seguem valores parecidos com os de Rodrigues et. al. (20) que elaboraram cocadas com coco verde e abacaxi, que seguem uma linha crescente na umidade devido às diferentes formulações de cada cocada. A elevação nos valores obtidos nas formulações F1 e F2 pode ser justificada pela incorporação de ingredientes com alto teor de umidade, como o albedo de maracujá — que apresenta aproximadamente 96,8% de umidade — e, no caso da F2, também pela adição de polpa de maçã, que contribuiu para o aumento do teor de umidade no produto.

O crescimento de microrganismos foi observado nas formulações F1 e F2 após uma semana de armazenamento em temperatura ambiente, corroborando com os valores elevados de atividade de água e umidade registrados nessas amostras (Figura 2). Ao final do cozimento, os sólidos solúveis totais medidos indicaram 57 ºBrix para a formulação P, 35 ºBrix para F1 e 34 ºBrix para F2. De acordo com o Instituto Adolfo Lutz (16), o teor de sólidos solúveis ideal para doces em massa situa-se entre 72 e 76 ºBrix, enquanto a legislação brasileira estabelece 65 ºBrix como valor mínimo (8).

Assim, observa-se que nenhuma das formulações atingiu os parâmetros recomendados, o que pode ter favorecido a maior suscetibilidade ao crescimento microbiano, especialmente em F1 e F2. No caso da amostra padrão (P), essa diferença pode estar associada à adoção do ponto de massa como critério de finalização do cozimento, o qual demanda menor concentração de sólidos solúveis em relação ao ponto de corte, característico de outras preparações açucaradas. Já para as formulações F1 e F2, além da adição de ingredientes com elevado teor de umidade, como o albedo de maracujá e a polpa de maçã, a substituição da sacarose por açúcar de coco também influenciou o resultado. Esse ingrediente contém elevada proporção de frutose, cujo ponto de caramelização inicia-se em torno de 110 ºC, enquanto a sacarose apresenta esse comportamento apenas a partir de aproximadamente 160 ºC (20). Essa diferença justifica os valores de ºBrix mais baixos observados, visto que prolongar o cozimento para atingir concentrações mais elevadas comprometeria as características sensoriais da cocada, resultando em escurecimento excessivo e sabor amargo indesejado.

Considerando que bolores e leveduras são capazes de se desenvolver em ambientes com elevada umidade e ausência de conservantes, a menor concentração de sólidos solúveis em F1 e F2, associada à maior disponibilidade de água, pode ter favorecido o crescimento desses microrganismos. A literatura aponta que os sólidos solúveis atuam como agentes redutores da atividade de água, promovendo efeito osmótico que inibe parcialmente o desenvolvimento microbiano, logo, quanto menor a concentração de açúcares e maior o teor de umidade, mais propício é o ambiente para o desenvolvimento de bolores e leveduras bem como trata Franco (21). Com isso a elevação da concentração de açúcar atua como uma barreira para desenvolvimento microbiano o que contribui para a maior estabilidade observada na formulação P.

Analisando os resultados obtidos para o pH, todas as formulações apresentaram-se levemente ácidas, com valores variando entre 4,20 e 4,98. Essa faixa favorece o crescimento de microrganismos fúngicos, como observado nas formulações F1 e F2, apesar de ainda estar abaixo do limite considerado crítico para a multiplicação de diversas bactérias. De acordo com Gava, Silva e Farias (22), a faixa ideal de pH para doces em massa situa-se entre 3,2 e 3,5, justamente por dificultar a proliferação microbiana. Valores abaixo de 4,5 já são considerados efetivos na prevenção do crescimento de microrganismos mais sensíveis, o que não foi o caso das formulações analisadas, cujos teores mais altos de pH podem ter contribuído para o surgimento de bolores.

Observou-se, ainda, uma tendência de redução nos valores de pH acompanhada por um aumento da acidez, à medida que se elevou a proporção de coco e, principalmente, de albedo de maracujá nas formulações. Tal comportamento sugere que o albedo, por conter compostos ácidos em sua composição, exerceu influência significativa no aumento da acidez total do produto. Vale salientar que os resultados obtidos por Rodrigues (20), cujos valores de pH variaram entre 5,01 e 6,02, contrastam com os das formulações desenvolvidas neste estudo, uma vez que apresentaram valores de pH mais elevados e, consequentemente, menor acidez. A autora destaca que o aumento da proporção de coco, aliado à redução da quantidade de abacaxi, contribuiu para o aumento do pH e a diminuição da acidez nas formulações analisadas. Tal observação guarda analogia com os achados do presente trabalho, em que se verificou que o acréscimo de albedo de maracujá esteve associado ao aumento da acidez e à consequente redução do pH.

A determinação da acidez titulável é fundamental para avaliar a qualidade e a estabilidade de alimentos, especialmente em produtos contendo frutas ou ingredientes com potencial ácido, como o albedo de maracujá e a polpa de maçã. Esses ingredientes podem ser adicionados durante a formulação com o objetivo de elevar a acidez natural do produto, além de contribuírem para o desenvolvimento de uma textura mais adequada (21) No presente estudo, os valores de acidez titulável variaram entre 0,12 e 0,28% (g/L), sendo compatíveis com o esperado para produtos com adição de frutas. Resultados similares foram observados por Marques et al. (5), que ao desenvolverem cocadas adicionadas de uva, relataram aumento significativo da acidez em relação à cocada tradicional, evidenciando que a composição da fruta empregada influencia diretamente esse parâmetro. Assim como no estudo mencionado, a maior acidez observada nas formulações F1 e F2 pode ser atribuída à presença de albedo de maracujá e polpa de maçã, ingredientes ricos em ácidos orgânicos naturalmente presentes.

As variações em parâmetros físico-químicos, como umidade, atividade de água e sólidos solúveis, indicam potenciais impactos na textura e no sabor das cocadas, fatores cruciais para a aceitação do consumidor. Portanto, testes sensoriais são essenciais em etapas futuras para medir a percepção de qualidade pelo público. Adicionalmente, análises microbiológicas complementares forneceriam dados mais robustos sobre a estabilidade e a segurança do produto.

Figura 2.Cocadas após uma semana de armazenamento a temperatura ambiente.

P:formulação padrão, F1: formulação do pré-teste 1; F2: formulação pré-teste2

Fonte: Autores, 2025

Tabela 2- Valores médios para caracterização física e físico-química das diferentes formulações de cocada.

Formulações	Aa	Umidade (%)	pH	Acidez Titulável (%)
P	0,90±0,01	30,20±0,15	4,98±0,10	0,13±0,03
F1	0,95±0,00	49,30±0,15	4,70±0,10	0,28±0,02
F2	0,96±0,00	52,20±0,86	4,28±0,05	0,28±0,02

P:formulação padrão, F1: formulação do pré-teste 1; F2: formulação pré-teste2
Fonte: Autores, 2025

CONCLUSÕES

O presente estudo demonstrou que a substituição total da sacarose por açúcar de coco, associada à adição de ingredientes funcionais como albedo de maracujá e polpa de maçã, é tecnicamente viável na formulação de cocadas com potencial funcional. As formulações desenvolvidas apresentaram variações significativas nos parâmetros físico-químicos, evidenciando o impacto direto da substituição de ingredientes sobre as características do produto final.

As cocadas com adição de albedo e polpa de maçã (F1 e F2) apresentaram maiores teores de umidade e atividade de água, além de menores concentrações de sólidos solúveis, o que favoreceu o crescimento de microrganismos após uma semana de armazenamento à temperatura

ambiente. Em contrapartida, a formulação padrão (P), com maior teor de sólidos solúveis, apresentou melhor estabilidade microbiológica, reforçando o papel dos açúcares na conservação do produto.

Apesar dos desafios relacionados à estabilidade, os resultados indicam que a reformulação da cocada é uma alternativa promissora para o desenvolvimento de doces com menor índice glicêmico e maior valor nutricional, atendendo à crescente demanda por alimentos mais saudáveis, especialmente por pessoas com restrições ao consumo de açúcares.

Embora os resultados indiquem a possibilidade de desenvolvimento de cocadas com menor índice glicêmico e maior valor nutricional, a avaliação da aceitação sensorial, estabilidade microbiológica e permanência de compostos bioativos não foi realizada. Desse modo, a viabilidade comercial e funcional dessas reformulações deve ser avaliada por meio de testes sensoriais, análises microbiológicas e avaliações da atividade de compostos bioativos, antes que se possa afirmar seu potencial como produto alimentar funcional.

Como perspectivas para estudos futuros, propõe-se explorar estratégias para aumentar o teor de sólidos solúveis (°Brix), reduzir o pH e testar conservantes compatíveis aliado a antioxidantes, visando melhorar a estabilidade do produto sem comprometer suas características sensoriais ou nutricionais.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho não seria possível sem o apoio de pessoas e instituições que, direta ou indiretamente, contribuíram com dedicação, incentivo e confiança. Agradeço imensamente ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (PIBITI) por acreditar na importância da pesquisa e por proporcionar a oportunidade de crescimento acadêmico e pessoal.

À minha orientadora, Prof.ª Drª. Luciares Araújo, registro minha profunda gratidão por sua orientação generosa, por acreditar no potencial deste projeto e por compartilhar, com paciência e entusiasmo, seus conhecimentos e sua paixão pela ciência.

Aos colegas de laboratório, amigos e familiares, agradeço por cada gesto de apoio nos momentos desafiadores e por comemorarem cada pequena conquista comigo; esta trajetória foi construída com muitos esforços, e poder dividi-la com pessoas tão especiais torna o caminho mais leve e significativo. Por fim, dedico este trabalho a todos que acreditam que a ciência pode transformar realidades e gerar impactos positivos na vida das pessoas.

REFERÊNCIAS

1. IFCE; EMBRAPA. Utilização de ingredientes funcionais em alimentos: alternativas para prevenção de doenças crônicas. Fortaleza: Instituto Federal do Ceará; 2023.
2. EMBRAPA. Receitas saudáveis para pessoas com diabetes: ingredientes regionais do Semiárido. Campina Grande: Embrapa Algodão; 2018.
3. Martins CR, Jesus Júnior LA. Comércio internacional: panorama 2010. Documentos. 2011;164:32.
4. Galastri, Borelli A. História da cocada no Brasil: um doce cultural. São Paulo: Universidade Cruzeiro do Sul; 2011.
5. Marques EG, Souza RS, Lima LO, Melo NCA. Produção de doce tipo cocada de uva (Vitis viníferas L.) proveniente do Vale Submédio São Francisco. Research, Society and Development. 2022;11(17):e283111739134.
6. Lody R. Coco: comida, cultura e patrimônio. São Paulo: Senac; 2011.
7. Silva E. O doce como patrimônio cultural. Recife; 2012. (Tese de doutorado)
8. Brasil. Ministério da Saúde. Vigitel Brasil 2023: vigilância de fatores de risco e proteção para doenças crônicas por inquérito telefônico. Brasília: Ministério da Saúde; 2023.
9. Elias NV, Barbosa LS. Benefícios da dieta com baixo índice glicêmico no controle da glicemia e perda ponderal de pacientes com Diabetes Mellitus tipo 2: revisão sistemática de ensaios clínicos randomizados. Rev Assoc Bras Nutr. 2021;12(4):186–200.
10. Alongi M, Anese M. Re-thinking functional food development through a holistic approach. J Funct Foods. 2021;81:104481.
11. Azevedo IC, et al. Características sensoriais e efeito da informação do conteúdo de gordura sobre a aceitação sensorial em salsichas tipo Frankfurt. Rev Bras Ciênc Vet. 2006;13(3):155–9.
12. Soomro MA, Khan S, Majid A, et al. Pectina como alimento biofuncional: visão geral abrangente de seus efeitos terapêuticos e mecanismos associados a antidiabéticos. Discover Applied Sciences. 2024;6:298.
13. Khatkar A, Kumari S, Kumar V. Malus domestica: A review on nutritional features, chemical composition, traditional and medicinal value. J Ethn Foods. 2020;7(1):1–14.
14. Moura KPA, Silva BS, Rodrigues EA, Nascimento EA. Farinha do albedo do maracujá (Passiflora edulis Sims) para o desenvolvimento de produtos funcionais. Research, Society and Development. 2021;10(2):e176102123137.
15. Dias MV, Lima LM, Rosa GJ, Pinto AG, Ramos AM. Estudo de variáveis de processamento para produção de doce em massa da casca do maracujá (Passiflora edulis f. flavicarpa). Ciênc Tecnol Aliment. 2011;31(1):65–71.
16. Instituto Adolfo Lutz (IAL). Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4. ed. São Paulo: IAL; 2008.
17. Carneiro LM, Oliveira JP, Mello CR. Avaliação da estabilidade de geleias de amora-preta acondicionadas em diferentes embalagens. J Bioen Food Sci. 2016;3(2):89–102.
18. Jay JM. Microbiologia de alimentos. 6. ed. Porto Alegre: Artmed; 2009.
19. Vieira DM, et al. Avaliação física, química e sensorial de genótipos de uvas com potencial para produção de passas no submédio do vale do São Francisco. 2016.
20. Rodrigues TZ, Amaral MB, Silva FC, Almeida LC. Desenvolvimento e caracterização de doce misto cremoso de coco verde e abacaxi. Research, Society and Development. 2021;10(5):e26210514540.
21. Franco BDGM, Landgraf MT. Microbiologia dos alimentos. 2. ed. São Paulo: Atheneu; 2008.
22. Gava AJ, Silva CAB, Farias JRG. Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações. São Paulo: Nobel; 2008.

DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE SENSORIAL DE PANQUECA FUNCIONAL À BASE DE MILHO (*Zea mays L.)* SEM LACTOSE

DEVELOPMENT AND SENSORY ANALYSIS OF A FUNCTIONAL CORN-BASED (*Zea mays L.)* PANCAKE WITHOUT LACTOSE

DOI: 10.65747/conali2025v3c25

Antônio José da Silva Neto[1]; Maria José da Silva Soares[2]; Silvana Gonçalves Brito de Arruda[3]; Hayanna Adlley Santos de Arruda[4]; Roberta Albuquerque Bento da Fonte[5]

[1]Estudante do Curso de Nutrição - CAV – UFPE ; [2]Estudante do Curso de Nutrição - CAV – UFPE ; [3]Docente do Curso de Nutrição – CAV – UFPE ; [4]Docente do Curso de Nutrição – CAV – UFPE ; [5]Docente do Curso de Nutrição – CAV – UFPE ;
Contato: antonio.jsilva3@ufpe.br

Resumo: O presente estudo teve como objetivo desenvolver e avaliar sensorialmente panquecas à base de milho sem lactose, configurando uma alternativa inclusiva para indivíduos com restrições alimentares. A pesquisa foi realizada na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) – CAV, empregando três formulações: 100% farinha de aveia, 100% farinha de chia e 50% farinha de aveia/50% farinha de chia, todas preparadas com leite de coco caseiro em substituição ao leite de vaca. Dezenove provadores não treinados participaram da análise sensorial utilizando a escala hedônica de nove pontos, considerando cor, odor, sabor, textura, aparência, aceitabilidade global e intenção de compra. Os resultados evidenciaram maior aceitação da formulação com 100% farinha de aveia (47,4%), destacada pela coloração amarelada, textura macia e sabor agradável, além de registrar a maior intenção de compra (40%). A versão com chia apresentou menor aceitação (26,3%), atribuída à coloração escura e à textura densa, enquanto a formulação mista obteve desempenho intermediário. A análise nutricional da panqueca preferida (100% aveia) revelou, por porção de 60g, 123 kcal, 14g de carboidratos, 3,8g de proteínas, 5,9g de lipídios e 2,2g de fibras, atendendo à legislação para “fonte de fibras”. O teor de sódio (361 mg/60g) indica necessidade de ajustes. Conclui-se que o uso de farinhas alternativas e leite vegetal é viável, com destaque para a aveia como melhor opção entre as formulações testadas.

Palavras–chave: alimentos funcionais; leite vegetal; aceitação do consumidor; propriedades nutricionais

Abstract: This study aimed to develop and sensorially evaluate lactose-free corn-based pancakes, providing an inclusive alternative for individuals with dietary restrictions. The research was conducted at the Federal University of Pernambuco (UFPE) – CAV, using three formulations: 100% oat flour, 100% chia flour, and 50% oat flour/50% chia flour, all prepared with homemade coconut milk instead of cow's milk. Nineteen untrained panelists participated in the sensory analysis using a nine-point hedonic scale, considering color, odor, taste, texture, appearance, overall acceptability, and purchase intent. The results showed greater acceptance of the 100% oat flour formulation (47.4%), highlighted by its yellowish color, soft texture, and pleasant flavor, in addition to recording the highest purchase intent (40%). The chia version had lower acceptance (26.3%), attributed to its dark color and dense texture, while the mixed formulation had intermediate performance. The nutritional analysis of the favorite pancake (100% oat) revealed, per 60g serving, 123 kcal, 14g of carbohydrates, 3.8g of protein, 5.9g of lipids, and 2.2g of fiber, meeting the legislation for "fiber source." The sodium content (361 mg/60g) indicates the need for adjustments. It is concluded that the use of alternative flours and plant-based milk is viable, with oatmeal standing out as the best option among the formulations tested.

Keywords: functional foods; vegetable milk; consumer acceptance; nutritional properties

INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays L.*), originário da Mesoamérica, é cultivado há cerca de 7.500 a 12.000 anos e constitui um dos cereais mais importantes para a alimentação humana e animal (1). O Brasil está entre os maiores produtores mundiais, desempenhando papel central na segurança alimentar e na economia agroindustrial (2). Do ponto de vista nutricional, o grão é rico em carboidratos (72 %–75%), proteínas (8 %–11%) e lipídios (3 %–5%), além de fornecer fibras alimentares, vitaminas do complexo B e minerais como fósforo e magnésio (1). Apesar do baixo teor de aminoácidos essenciais como lisina e triptofano, o milho é considerado uma importante fonte energética e base para inúmeras preparações culinárias (1).

O milho também possui relevância cultural, em especial no Nordeste, onde está associado às festas juninas e à identidade gastronômica regional, aparecendo em preparações como pamonha, canjica, mungunzá e bolo de milho (3,4). Além disso, é um alimento de baixo custo e fácil acesso, fundamental na dieta de populações de baixa renda em regiões semiáridas, sendo reconhecido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) como componente essencial da segurança alimentar e nutricional (2).

Além de seu valor cultural e nutricional, o milho também serve como base para diversas preparações culinárias tradicionais e adaptáveis. Entre essas preparações, destaca-se a panqueca, tradicionalmente elaborada com farinha de trigo, leite, ovos e óleo, é um prato versátil e amplamente aceito em diferentes culturas. Sua textura fina e maleável permite adaptações, incluindo variações com farinhas alternativas e substitutos do leite (5).

Essas modificações são particularmente relevantes diante da elevada prevalência da intolerância à lactose, condição caracterizada pela deficiência da enzima lactase. Estimativas globais indicam que cerca de 68 % da população adulta mundial apresenta má digestão de lactose (6). No Brasil, estudos de autorrelato apontam prevalência de 32,3 % entre adultos (7), enquanto investigações clínicas pelo teste de hidrogênio identificaram 34,1 % na região Nordeste (8).

Nesse cenário, a busca por produtos sem lactose tem crescido consideravelmente. O mercado de alimentos voltados a indivíduos com restrições alimentares movimenta bilhões de dólares por ano e acompanha tendências globais de maior preocupação com saúde e bem-estar (9). Além da segurança alimentar, há também um interesse crescente em alimentos que associam características nutricionais a benefícios fisiológicos adicionais, conhecidos como alimentos funcionais (10).

Entre os ingredientes funcionais, a aveia (*Avena sativa L.*) se destaca por conter β-glucanas, fibras solúveis com capacidade de reduzir o colesterol LDL, modular a glicemia e favorecer o trânsito intestinal (11,12). A chia (*Salvia hispanica L.*) é outro ingrediente de interesse, devido ao seu elevado teor de fibras, proteínas, ácidos graxos poli-insaturados, principalmente ômega-3, e compostos bioativos com propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias (13, 14). Portanto,

segundo Silva, Pereira Júnior e Santos (12) e Coelho e Salas-Mellado (14), a incorporação de aveia e chia em produtos derivados de milho pode ampliar o valor nutricional e o potencial funcional das preparações.

Dessa forma, o desenvolvimento de panquecas de milho funcionais, sem lactose, representa não apenas uma alternativa inclusiva para indivíduos com restrições alimentares, mas também uma inovação tecnológica que alia tradição cultural, valor nutricional e benefícios à saúde. Este estudo teve como objetivo elaborar e avaliar sensorialmente diferentes formulações de panquecas de milho, utilizando leite vegetal e farinhas alternativas de aveia e chia, além de caracterizar nutricionalmente a versão mais aceita. A proposta contribui para a diversificação da dieta de grupos populacionais específicos e reforça a importância de estratégias alimentares voltadas à promoção da saúde e inclusão social.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) – Centro Acadêmico de Vitória (CAV) –, durante a disciplina de Análise Sensorial dos Alimentos, no laboratório de Técnica e Dietética. O experimento consistiu no desenvolvimento de panquecas à base de milho em três formulações: 100% farinha de aveia, 100% farinha de chia e 50% aveia/50% chia, elaboradas como alternativa inclusiva para indivíduos com intolerância ao glúten e à lactose. Para a substituição do leite de vaca, utilizou-se leite de coco caseiro, garantindo maior naturalidade à preparação e adequação às restrições alimentares propostas.

Preparo das formulações

Os ingredientes utilizados no preparo da massa estão descritos no Quadro 01, com quantidades padronizadas para cada formulação. O fluxograma da Imagem 01 apresenta esquematicamente as etapas seguidas na elaboração do produto. Os equipamentos utilizados foram balança, faca, recipientes plásticos, liquidificador, multiprocessador, frigideiras antiaderentes, conchas, peneiras e colheres O processamento da panqueca funcional de milho foi realizado em etapas sequenciais. Inicialmente, procedeu-se ao recebimento das matérias-primas e dos demais ingredientes, seguido da seleção e higienização com o objetivo de garantir a qualidade e a segurança microbiológica dos insumos. Em seguida, realizou-se a separação manual dos grãos de milho da espiga e a retirada da polpa do coco para obtenção do leite de coco, o qual foi preparado por meio do processamento mecânico dos pedaços de coco em liquidificador, seguido de filtragem para remoção dos resíduos sólidos.

Paralelamente, efetuou-se o picar da cebolinha e, posteriormente, a mistura do milho com o leite de coco em liquidificador, resultando em uma massa uniforme após o batimento. A massa foi então homogeneizada e acrescida do ovo, óleo de soja, sal, pimenta-do-reino, fermento químico e

da respectiva farinha (aveia, chia ou combinação das duas) como previstos na formulação, garantindo sua padronização. Na etapa seguinte, uma frigideira antiaderente foi aquecida com pequena quantidade de óleo, e a massa foi porcionada e distribuída de forma homogênea na superfície aquecida. O produto foi então espalhado e mantido até atingir o ponto de douramento adequado, caracterizando o preparo final da panqueca funcional

Quadro 01 - Ingredientes e suas quantidades utilizados para a formulação das panquecas 100% farinha de aveia, 100% farinha de chia e 50% farinha de aveia/50% farinha de chia

Ingredientes	Quantidade
Milho debulhado (g)	170
Leite de coco (caseiro) (ml)	90
Ovo (g)	50 (1 ovo)
Óleo vegetal (soja) (ml)	10 (na receita) e 3(para untar)
Farinha de aveia (g)	100 (F1) /50 (F3)
Farinha de chia (g)	100 (F2) /50 (F3)
Fermento químico (g)	5
cebolinha picada	2 talos
Sal (g)	7
Pimenta-do-reino (g)	7

F1: Formulação 1 (100% farinha de aveia); F2: Formulação 2 (100% farinha de chia); F3: Formulação 3 (50% farinha de aveia 50% farinha de chia).
Fonte: Autores, 2025

Figura 1 **-** Fluxograma de processamento da panqueca funcional à base de milho sem lactose

Fonte: Autores, 2025

Análise sensorial

As panquecas foram dispostas em pratos de porcelana e mantidas em temperatura adequada para a realização da análise sensorial. Esta foi conduzida com dezenove provadores não treinados, que avaliaram as três formulações utilizando a escala hedônica de nove pontos. Os

atributos analisados foram cor, odor, sabor, textura e aparência, além da aceitabilidade global e da intenção de compra, possibilitando a comparação direta entre as amostras.

Tabela nutricional

A Tabela de Composição Nutricional da panqueca foi desenvolvida por meio de cálculo teórico, o qual foi realizado por meio da aplicação de regra de três simples, considerando o valor de cada nutriente por 100g do ingrediente e sua respectiva quantidade na formulação. Os nutrientes avaliados foram: valor energético, carboidratos totais, açúcares totais, açúcares adicionados, proteínas, gorduras totais, gorduras saturadas, gorduras trans, fibra alimentar e sódio. Após o somatório dos nutrientes oriundos de cada ingrediente, foi realizada a conversão para a porção de referência adotada, fixada em 25g, conforme estabelece a Instrução Normativa nº 75, de 8 de outubro de 2020, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (15). Também foi calculada a composição para 100g do produto, requisito obrigatório conforme a Resolução RDC nº 429, de 8 de outubro de 2020, que dispõe sobre a rotulagem nutricional de alimentos embalados.

Os percentuais de Valores Diários (%VD) foram calculados com base nos referenciais propostos para uma dieta de 2.000 kcal ou 8.400 kJ, conforme definido na IN nº 75/2020. Para o cálculo de %VD de açúcares adicionados, foi utilizado o limite diário de 50g como referência. Os dados foram então organizados em tabela conforme o modelo proposto pela legislação vigente, contendo os valores por porção de 25g e por 100g, bem como os respectivos percentuais de valores diários.

A metodologia adotada teve por finalidade subsidiar a elaboração da rotulagem nutricional, em conformidade com as exigências da legislação vigente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As três formulações de panquecas de milho desenvolvidas apresentaram características tecnológicas satisfatórias, incluindo formato circular, espessura uniforme, textura maleável e maciez, preservando o padrão típico da preparação tradicional. Entretanto, diferenças sensoriais significativas foram observadas entre as amostras, evidenciando a influência direta das farinhas utilizadas sobre a aceitabilidade e as propriedades funcionais do produto (Figura 2).

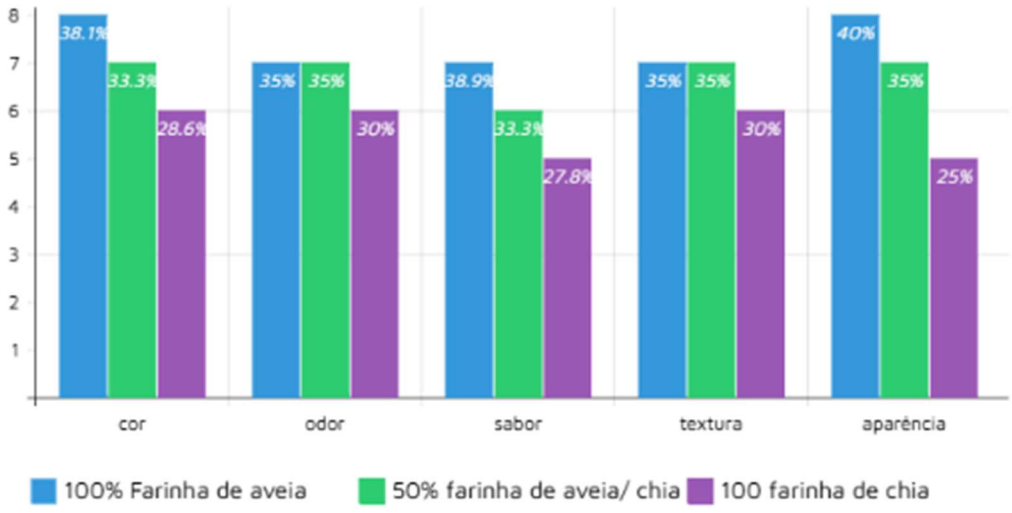
A formulação F1, elaborada com 100% farinha de aveia, destacou-se pela coloração amarelada, próxima ao padrão tradicional, e pela textura macia e leve, sendo a mais aceita pelos provadores, com 47,4% de aceitação global (Figura 3). A elevada aceitação pode ser explicada pelo teor de fibras solúveis da aveia, que favorece a retenção de umidade e confere maciez à massa sem comprometer sua estrutura (16). Além disso, a aveia contribui com um perfil de sabor suave, agradável e familiar, alinhando-se a estudos que ressaltam sua aplicabilidade em produtos sem glúten, mantendo características sensoriais semelhantes às preparações tradicionais (1). Esse

resultado refletiu-se na intenção de compra, em que 40% dos provadores afirmaram que “certamente comprariam” a panqueca de aveia, enquanto 33,3% indicaram que “provavelmente comprariam”, evidenciando seu potencial de aceitação comercial como visto no gráfico da figura 4.

Por outro lado, a formulação F2, com 100% farinha de chia, apresentou menor aceitação 26,3% (Figura 3), devido à coloração mais escura e à textura mais densa, características relacionadas à elevada concentração de fibras insolúveis, proteínas e compostos fenólicos presentes na semente (14). Embora esses componentes agreguem valor nutricional e potencial antioxidante ao alimento, sua incorporação integral em preparações sensíveis do ponto de vista sensorial, como a panqueca, pode comprometer a palatabilidade, corroborando os achados de outros estudos que ressaltam a necessidade de balancear funcionalidade e aceitação do consumidor (15,9). Na intenção de compra, 45,5% dos provadores afirmaram que “certamente não comprariam” a panqueca de chia, enquanto apenas 20% declararam que “certamente comprariam”, indicando maior resistência do público frente à formulação (Figura 4).

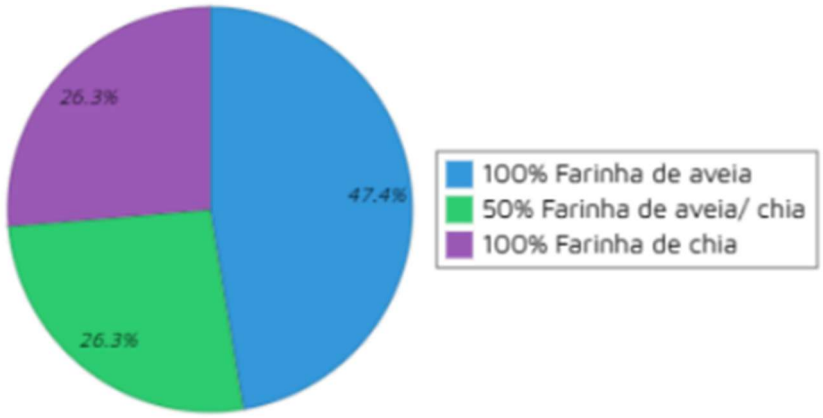
A formulação F3, composta por 50% Farinha de aveia e 50% farinha de chia, apresentou aceitação intermediária com 26,3% (Figura 3), sugerindo que a combinação das farinhas pode equilibrar parcialmente as características sensoriais da aveia com os benefícios funcionais da chia. A intenção de compra dessa formulação apresentou distribuição mais homogênea: 40% dos provadores afirmaram que “certamente comprariam”, enquanto 41,7% declararam que “provavelmente comprariam”, indicando que estratégias de formulação híbrida podem ampliar a aceitação de produtos funcionais, embora ajustes sensoriais adicionais ainda sejam necessários (1, 13) (Figura 4).

Figura 2 - Médias dos parâmetros encontrados na análise sensorial de panquecas funcionais à base de milho



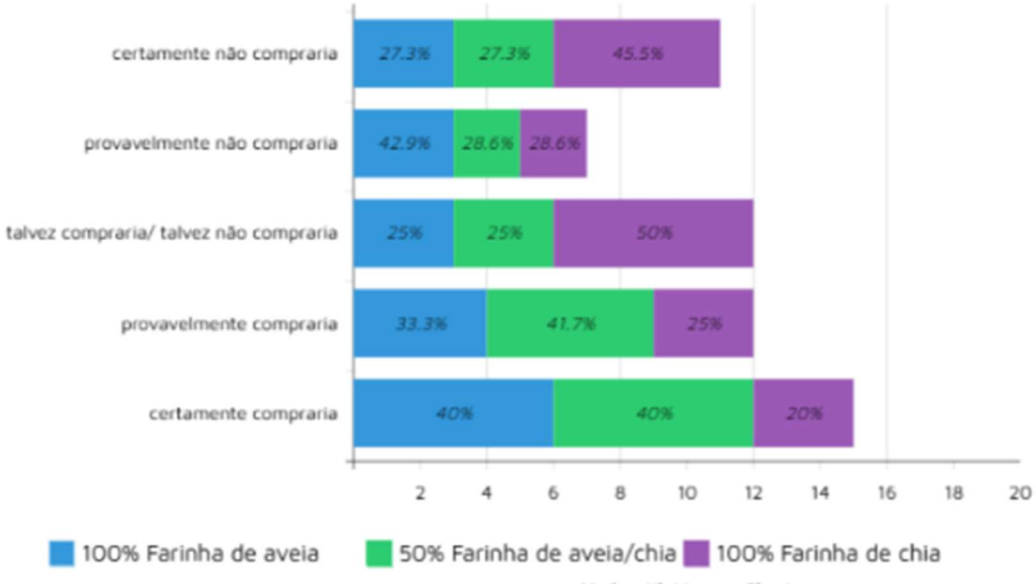
Fonte: Autores, 2025

Figura 3 - Amostra com maior aceitação dos provadores na análise sensorial entre as formulações de panquecas funcionais à base de milho



Fonte: Autores,2025

Figura 4 - Intenção de compra dos provadores na análise sensorial entre as formulações de panquecas funcionais à base de milho



Fonte: Autores,2025

A partir do resultado da formulação de maior aceitação (100% farinha de aveia), procedeu-se à elaboração da tabela de informação nutricional da amostra escolhida (Figura 5), em conformidade com a RDC nº 429/2020 e a IN nº 75/2020 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (15), possibilitando a caracterização detalhada de seus valores de energia, macronutrientes, fibras e sódio, elementos essenciais para a compreensão do seu potencial funcional e do seu enquadramento regulatório.

Figura 5 - Tabela de informação nutricional da amostra com maior aceitação entre os provadores (100% farinha de aveia)

INFORMAÇÃO NUTRICIONAL			
Porções por embalagem: Porção: 60 gramas (1 unidade)			
	100 g	**60 g**	**%VD***
Valor energético (Kcal)	206	123	6
Carboidratos (g)	24	14	5
Açúcares Totais (g)	0	0	
Açúcares Adicionados (g)	0	0	0
Proteínas (g)	6,4	3,8	8
Gorduras totais (g)	9,9	5,9	11
Gorduras saturadas (g)	0	0	0
Gorduras trans (g)	0	0	0
Fibras alimentares (g)	3,6	2,2	9
Sódio (mg)	601	361	18
*Percentual de valores diários fornecidos pela porção			

Fonte: Autores, 2025

Observa-se que a porção de 60g fornece 123 kcal, sendo composta majoritariamente por carboidratos (14g; 5% VD), seguidos de proteínas (3,8g; 8% VD) e gorduras totais (5,9g; 11% VD). A presença de 2,2g de fibras alimentares representa 9% do valor diário, o que é relevante considerando o impacto positivo da fibra na saúde intestinal e na prevenção de doenças crônicas (10).

Quando analisado por 100g, a densidade nutricional torna-se mais evidente: o produto apresenta 206 kcal, 24g de carboidratos, 6,4g de proteínas e 9,9g de gorduras totais. A presença de 3,6g de fibras alimentares, valor que, segundo a Instrução Normativa nº 75/2020, permite classificá-la como um alimento com “fonte de fibras”, visto que a normativa estabelece como critério mínimo 3g/100g para esta alegação nutricional, enquanto o limite para “alto teor de fibras” corresponde a ≥ 6g/100g (15). Este resultado encontra respaldo na literatura científica, uma vez que formulações de panquecas integrais ou elaboradas com misturas de leguminosas e pseudocereais também apresentam teores de fibra próximos a 3–4g/100g, como descrito no estudo de Dhanasekaran *et al.* (18), que avaliou o desenvolvimento de premix de panqueca a partir de grão-de-bico, quinoa, milheto, sorgo e feijão-preto. De forma semelhante, bases de dados nutricionais internacionais, como a USDA FoodData Central, descrevem panquecas integrais preparadas com valores médios de 3,6g de fibras por 100g, corroborando o resultado encontrado (20). Outros trabalhos ressaltam ainda o potencial do uso de farelos, farinhas alternativas e pseudocereais como estratégia para o aumento do teor de fibras em produtos panificados e similares, demonstrando que pequenas modificações na formulação podem elevar a classificação do alimento de “fonte” para “alto teor” de fibras, sem comprometer a aceitação sensorial (21,22).

Um ponto de atenção refere-se ao teor de sódio. A cada 60g, a panqueca apresenta 361 mg (18% VD) e, por 100g, 601 mg. De acordo com a RDC nº 429/2020, alimentos com valores iguais ou superiores a 600 mg de sódio por 100g devem conter advertência frontal em rotulagem nutricional (23). Entretanto, é importante destacar que a porção usualmente consumida não corresponde a 100g, mas sim a quantidades inferiores, como 60g, reduzindo assim a contribuição efetiva de sódio na dieta. Do ponto de vista prático, uma estratégia para o aprimoramento nutricional do produto pode envolver a substituição parcial do sal de cozinha por temperos naturais, especiarias ou sais com teor reduzido de sódio, preservando a aceitação sensorial e, ao mesmo tempo, alinhando-se às recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS), que orienta a redução do consumo diário de sódio para menos de 2 g/dia (24).

Em relação ao valor funcional, a inclusão de aveia e chia contribui significativamente para o perfil nutricional das panquecas. A aveia, rica em β-glucanas, atua na modulação da glicemia e na redução do colesterol LDL (16,12,18), enquanto a chia fornece ácidos graxos essenciais, proteínas e compostos bioativos com propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias (13, 14). Assim, a combinação desses ingredientes em panquecas de milho permite a elaboração de produtos não apenas sensorialmente atrativos, mas também nutricionalmente enriquecidos, alinhando-se às tendências de desenvolvimento de alimentos funcionais, inclusivos e culturalmente relevantes (17, 9).

Dessa forma, os resultados indicam que o uso de farinhas alternativas em panquecas de milho é tecnologicamente viável e sensorialmente promissor, sendo possível conciliar inovação, valor nutricional e tradição cultural. Ajustes na proporção de chia e no teor de sódio podem ampliar ainda mais a aceitação e o potencial funcional das preparações, abrindo caminho para novas pesquisas sobre formulações híbridas e a diversificação de alimentos funcionais destinados a populações com restrições alimentares.

CONCLUSÕES

A elaboração de panquecas de milho utilizando farinhas alternativas demonstrou-se tecnicamente viável, cumprindo o objetivo de desenvolver produtos inclusivos, sem glúten e sem lactose. A formulação com 100% aveia destacou-se pela melhor aceitação sensorial, combinando textura macia, sabor agradável e coloração atrativa, evidenciando-se como uma opção prática e nutricionalmente interessante. Por sua vez, as formulações com chia apresentaram elevado potencial funcional, devido ao teor de fibras e compostos bioativos, mas demandam ajustes sensoriais, especialmente em textura, cor, sabor e teor de sódio, para otimizar sua aceitação.

Dessa maneira, a panqueca de milho configura-se como uma preparação versátil que alia tradição cultural, inovação tecnológica e inclusão alimentar, contribuindo para a diversificação de dietas funcionais e restritivas. Estudos futuros podem explorar novas combinações de farinhas

alternativas, otimização nutricional e estratégias de formulação voltadas à ampliação da aceitação sensorial e funcionalidade, reforçando o papel desses produtos na promoção da saúde e na valorização de alimentos culturais.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossa sincera gratidão à equipe da eletiva de Análise Sensorial da Universidade Federal de Pernambuco – CAV, que proporcionou o espaço e os recursos necessários para a concepção e execução deste estudo. Agradecemos especialmente às professoras Silvana, Hayanna e Roberta, pelo suporte técnico, orientação e incentivo durante todas as etapas do desenvolvimento do produto.

Também estendemos nossos agradecimentos aos amigos e colegas que participaram ativamente da eletiva, colaborando com ideias, auxílio na preparação das panquecas e na condução das avaliações sensoriais. Sem a participação de cada um, a realização deste estudo, desde a idealização até a análise sensorial final, não teria sido possível.

Este trabalho é resultado do esforço conjunto e da dedicação de todos os envolvidos, refletindo não apenas aprendizado acadêmico, mas também experiências práticas valiosas que contribuíram para o desenvolvimento de um produto funcional, inclusivo e culturalmente relevante.

REFERÊNCIAS

1. PAES, M. C. A. Composição nutricional do milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/865334/1/0025.pdf.
2. EMBRAPA. Importância socioeconômica do milho para a alimentação humana em regiões de baixa renda no Nordeste. Brasília: Embrapa – Agência de Informação Tecnológica, 2020. Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/pre-producao/socioeconomia/importancia-socioeconomica.
3. BEZERRA SIQUEIRA, J. D.; SILVA, R.; SANTOS, F. Festas juninas celebram a gastronomia nordestina e o milho. Brasil de Fato, Recife, 24 jun. 2021. Disponível em: https://www.brasildefato.com.br/2021/06/24/festas-juninas-celebram-o-milho-e-a-gastronomia-nordestina/.
4. CULTURA PE. Gastronomia junina é símbolo da herança indígena e africana no Nordeste. Portal Cultura PE, 2020. Disponível em: https://www.cultura.pe.gov.br/canal/gastronomia/gastronomia-junina-e-simbolo-da-heranca-indigena-e-africana-no-nordeste/.
5. DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. Química de alimentos de Fennema. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2019.
6. SHEERER, C. L. S. et al. Country, regional, and global estimates for lactose malabsorption in adults: a systematic review and meta-analysis. The Lancet Gastroenterology & Hepatology, v. 2, n. 10, p. 738–746, 2017. Disponível em: PubMed. pubmed.ncbi.nlm.nih.gov

7. BAUERMANN, A.; SANTOS, Z. de A. Prevalência de intolerância à lactose (por autorrelato) em adultos brasileiros. Revista Brasileira de Nutrição Esportiva, v. 13, n. 79, p. 306–311, 2019. Disponível em: rbne.com.b
8. ROCHA, R. Lactose intolerance and associated factors in a population group in northeastern Brazil. Medical Research Archives, v. 4, n. 1, jun. 2016. Disponível em: esmed.org
9. MARKETSANDMARKETS. Gluten-free products market by type & region – Global forecast to 2023.
10. SOUZA, E. C.; SANTOS, L. A. R.; SILVA, R. M. G. Alimentos funcionais: aspectos históricos, conceituais e regulatórios. Ciência & Saúde Coletiva, v. 24, n. 9, p. 3369–3378, 2019.
11. WHITEHEAD, A.; BECK, E. J.; TOSH, S.; WOLEVER, T. M. Cholesterol-lowering effects of oat β-glucan: a meta-analysis of randomized controlled trials. American Journal of Clinical Nutrition, v. 100, n. 6, p. 1413–1421, 2014
12. SILVA, I. R.; PEREIRA JÚNIOR, R.; SANTOS, A. B. Potencial funcional da aveia: revisão de literatura. Revista Brasileira de Nutrição Funcional, v. 15, n. 3, p. 42–48, 2021.
13. ULBRICHT, C. et al. Chia (Salvia hispanica L.): A systematic review by the Natural Standard Research Collaboration. Revista de Nutrição, v. 9, n. 6, p. 456–464, 2009.
14. COELHO, M. S.; SALAS-MELLADO, M. M. L. Revisão: composição química, propriedades funcionais e aplicações tecnológicas da chia (Salvia hispanica L.) em alimentos. Ciência Rural, v. 44, n. 4, p. 726–732, 2014.
15. BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Instrução Normativa – IN nº 75, de 8 de outubro de 2020. Estabelece os requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional dos alimentos embalados. Diário Oficial da União, 2020a.
16. WHITEHEAD, A.; BECK, E. J.; TOSH, S.; WOLEVER, T. M. Cholesterol-lowering effects of oat β-glucan: a meta-analysis of randomized controlled trials. American Journal of Clinical Nutrition, v. 100, n. 6, p. 1413–1421, 2014.
17. SOUZA, E. C.; SANTOS, L. A. R.; SILVA, R. M. G. Alimentos funcionais: aspectos históricos, conceituais e regulatórios. Ciência & Saúde Coletiva, v. 24, n. 9, p. 3369–3378, 2019.
18. SANTOS, M. G. et al. Dietary fiber intake and its relationship with metabolic and cardiovascular health: evidence from epidemiological studies. Journal of Nutrition and Metabolism, v. 2021, p. 1–12, 2021.
19. DHANASEKARAN, K. et al. Development and quality evaluation of pancake premix prepared from chickpea, quinoa, black-gram, pearl-millet and sorghum flours. Biochemical Journal, 2024. Disponível em: https://portlandpress.com/biochemj/article/481/14/1117/234381/Development-and-quality-evaluation-of-pancake.
20. UNIVERSITY OF ROCHESTER MEDICAL CENTER. Health Encyclopedia – Pancakes, whole-wheat. 2023. Disponível em: https://www.urmc.rochester.edu/encyclopedia/content?contenttypeid=76&contentid=972-1.
21. KUMAR, P. K. et al. Development of high-fibre and sugar-free frozen pancakes. Journal of Food Science and Technology, v. 58, n. 12, p. 4562–4571, 2021. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-021-05149-7.
22. DEGA, V. et al. Exploring the underutilized novel foods and starches for food applications. Frontiers in Nutrition, v. 10, p. 1-15, 2023. Disponível em: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnut.2023.1062168/full.
23. BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução RDC nº 429, de 8 de outubro de 2020. Dispõe sobre a rotulagem nutricional dos alimentos embalados. Diário Oficial da União, 2020b.
24. WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Guideline: Sodium intake for adults and children. Geneva: WHO, 2021.

EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO POR MICRO-ONDAS NO SUCO DE ACEROLA: INATIVAÇÃO MICROBIANA E PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

EFFECTS OF MICROWAVE THERMAL TREATMENT ON ACEROLA JUICE: MICROBIAL INACTIVATION AND PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES

DOI: 10.65747/conali2025v3c26

Carolina Silva Santos[1]; Jéssica Gonçalves Matias[2]; Jordan Dias de Souza Silva[3]; Liandra de Souza Oliveira[4]; Deyzi Santos Gouveia[5]; Adriano Sant'ana Silva[6]

[1]Estudante do Curso de pós-graduação em engenharia de alimentos - CTRN – UFCG; [2]Estudante do Curso de pós-graduação em engenharia de alimentos - CTRN– UFCG; [3]Estudante do Curso de pós-graduação em engenharia de alimentos - CTRN– UFCG; [4] Estudante do Curso de pós-graduação em engenharia de alimentos - CTRN– UFCG; [5]Docente do Depto de Engenharia de Alimentos – CTRN– UFCG; [6]Docente do Depto de Engenharia de Alimentos – CTRN– UFCG;

E-mail: carolinasilvaxx@gmail.com

RESUMO: A acerola (*Malpighia emarginata*) é uma fruta tropical rica em vitamina C e compostos bioativos, com grande potencial para a indústria alimentícia. No entanto, sua alta perecibilidade impõe desafios quanto à manutenção da qualidade microbiológica e físico-química dos produtos derivados. Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos do tratamento térmico por micro-ondas no suco de acerola, considerando diferentes combinações de tempo (60, 120 e 180 s) e potência (140, 280 e 420 W), frente a pasteurização convencional. O estudo foi conduzido no Laboratório de Engenharia de Alimentos -UFCG, onde foram realizadas as análises microbiológicas (mesófilos, bolores e leveduras) e físico-químicas (pH, acidez titulável, teor de água, vitamina C) e parâmetros de cor L*, a*, b*, Chroma e Hue). As análises estatísticas incluíram ANOVA, teste de Tukey ($p < 0,05$), gráficos de Pareto, superfície de resposta e contorno. Os resultados mostraram que a potência e o tempo influenciaram nos parâmetros de qualidade do suco. O parâmetro tempo foi determinante para a redução da carga microbiana de bolores e leveduras, enquanto a potência teve maior impacto sobre a carga microbiana de mesófilos e os parâmetros de cor. O teor de vitamina C foi melhor preservado sob condições de potência moderada e tempo mais longo. Conclui-se que o uso de micro-ondas é uma alternativa viável à pasteurização convencional, permitindo a otimização do processamento com menor impacto nutricional e sensorial, sendo promissora para a conservação de sucos tropicais.

Palavras–chave: conservação de alimentos; segurança microbiológica; tecnologia emergente.

ABSTRACT: Acerola (*Malpighia emarginata*) is a tropical fruit rich in vitamin C and bioactive compounds, with great potential for the food industry. However, its high perishability poses challenges regarding the maintenance of the microbiological and physicochemical quality of derived products. This study aimed to evaluate the effects of microwave thermal treatment on acerola juice, considering different combinations of time (60, 120, and 180 s) and power (140, 280 and 420 W), compared to conventional pasteurization. The study was conducted at the Food Engineering Laboratory - UFCG, where microbiological (mesophilic bacteria, molds, and yeasts) and physicochemical analyses (pH, titratable acidity, moisture content, vitamin C) were performed, along

with color parameters (L*, a*, b*, Chroma, and Hue). Statistical analyses included ANOVA, Tukey's test ($p < 0.05$), Pareto charts, and response surface and contour plots. The results showed that both power and time influenced the quality parameters of the juice. Time was a determining factor for the reduction of mold and yeast counts, while power had a greater impact on mesophilic bacteria and color parameters. Vitamin C content was better preserved under moderate power and longer heating times. It is concluded that microwave treatment is a viable alternative to conventional pasteurization, allowing process optimization with less nutritional and sensory impact, showing promise for the preservation of tropical juices.

Keywords: food preservation; microbiological safety; emerging technology

INTRODUÇÃO

A acerola (*Malpighia emarginata*) é uma fruta tropical reconhecida por seu elevado teor de vitamina C, antioxidantes e compostos bioativos, que conferem diversos benefícios à saúde. Além de seu valor nutricional, a acerola tem ganhado destaque como matéria-prima para a indústria alimentícia, especialmente devido à sua capacidade antioxidante e potencial funcional, que promovem a saúde e previnem doenças crônicas (1,2). O uso da acerola em sucos tem sido amplamente explorado devido ao seu sabor característico e alto valor nutricional, tornando-se uma alternativa saudável frente aos sucos convencionais. Contudo, a preservação da qualidade físico-química e microbiológica do suco é um desafio devido à sua alta perecibilidade. Processos tradicionais, como pasteurização, podem comprometer atributos sensoriais e nutricionais, o que tem incentivado a busca por técnicas inovadoras que preservam melhor as características originais da fruta (3).

Recentemente, o uso da tecnologia de micro-ondas tem emergido como uma alternativa promissora para o tratamento de sucos de frutas, incluindo a acerola. Este método apresenta vantagens na redução do tempo de processamento e na manutenção da qualidade nutricional, além de efetiva inativação microbiana. Estudos recentes destacam que o micro-ondas pode ser aplicado para otimizar a segurança microbiológica e as propriedades físico-químicas dos sucos, oferecendo uma solução eficiente para a indústria alimentícia (4).

Dessa forma, este estudo tem como objetivo avaliar os efeitos do tratamento térmico por micro-ondas no suco de acerola, identificando as condições de potência e tempo mais eficazes para reduzir a carga microbiana frente ao tratamento de pasteurização convencional e analisar alterações físico-químicas e microbiológicas. Serão investigadas a eficiência na inativação de microrganismos termosensíveis, além da influência dos parâmetros operacionais nas respostas microbiológica e físico-química. O trabalho busca contribuir para o desenvolvimento de processos mais eficientes e menos agressivos, garantindo a segurança microbiológica e preservando as características nutricionais e sensoriais, fortalecendo o uso de tecnologias emergentes na indústria de alimentos.

MATERIAL E MÉTODOS

Local de Realização dos Experimentos

As etapas experimentais desta pesquisa foram realizadas nos laboratórios da Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos (UAEALI), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), localizada no campus sede em Campina Grande – PB.

Matéria-prima

A matéria-prima utilizada no desenvolvimento deste trabalho foi a acerola *in natura* (*Malpighia emarginata*), adquirida na EMPASA – Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas, localizada no município de Campina Grande – PB.

Obtenção do suco de acerola

Os frutos de acerola foram inicialmente lavados em água corrente e higienizados em solução de hipoclorito de sódio a 200 $mg \cdot L^{-1}$ de cloro livre por 15 minutos. Após a imersão, foram enxaguados com água tratada da rede pública. O suco foi preparado em laboratório por meio de extração mecânica utilizando liquidificador doméstico da marca Britânia, BLQ 1300 FORTIS TURBO, seguido de peneiramento manual em peneira fina para remoção de resíduos sólidos. As amostras obtidas foram então submetidas aos tratamentos térmicos por micro-ondas utilizando o micro-ondas modelo Philco, PMO38E.

Tratamento Térmico

Nesta etapa, o suco de acerola foi acondicionado em garrafas de vidro transparentes estereis com capacidade de 100 mL e submetido a tratamento térmico em forno de micro-ondas doméstico com potência ajustável. Foram testadas combinações de tempo (60, 120 e 180 segundos) e potência (140 W, 280 W e 420 W), conforme delineamento fatorial 2².de acordo com a Tabela X. Uma amostra foi submetida à Pasteurização Convencional (PC), a qual foi aquecida até atingir 65 °C, permanecendo nesta temperatura por 30 minutos. A medição foi acompanhada com um termômetro de culinario digital - tipo espeto, para posterior comparação da eficácia na inativação microbiana e na preservação das propriedades físico-químicas do suco.

Todas as análises foram realizadas imediatamente após os tratamentos térmicos, visando comparar os efeitos de cada condição sobre a qualidade microbiológica e físico-química do suco.

Tabela 1 - Tratamentos térmicos aplicados ao suco de acerola por micro-ondas com diferentes combinações de tempo e potência, e pasteurização convencional.

FORMULAÇÕES	Potência(W)	Tempo (min)
F0	0	0
F1	140 (-)	60(-)
F2	140 (-)	180(+)
F3	420 (+)	60(-)
F4	420 (+)	180(+)
F5	280 (0)	120(0)
F6	280 (0)	120(0)

F7	0	0

Onde: F0: Formulação controle; F1-F6: Planejamento fatorial; F7: Pasteurização convencional

Análises microbiológicas

As análises microbiológicas consistiram na contagem de bactérias aeróbias mesófilas, bolores e leveduras, por meio de semeadura em meios de cultura apropriados e incubação em condições controladas de acordo com a metodologia proposta por, Hajdenwurcel (1998).

As análises foram realizadas através de contagem de placas (TPC) onde 100µL de suco de acerola foi misturado com ágar PCA e incubado a 36,5 °C por 24 horas e o número de colônias foi coletado e registrado as unidades formadoras de colônias por mililitro (UFC/mL). Foram incluídas ainda, as análises de bolores e leveduras (UFC/mL), visando complementar a avaliação da segurança microbiológica do suco.

Análises físico-químicas e físicas

Foram realizadas as análises físico-químicas de determinação do teor de água, pH, acidez titulável, teor de ácido ascórbico (vitamina C) e parâmetros de cor (L*, a*, b*, Chroma e Hue). Todas as análises, com exceção da avaliação da cor, foram realizadas seguindo os procedimentos descritos por Adolf Lutz (2008), garantindo a padronização metodológica e a confiabilidade dos resultados.

Análise Estatística

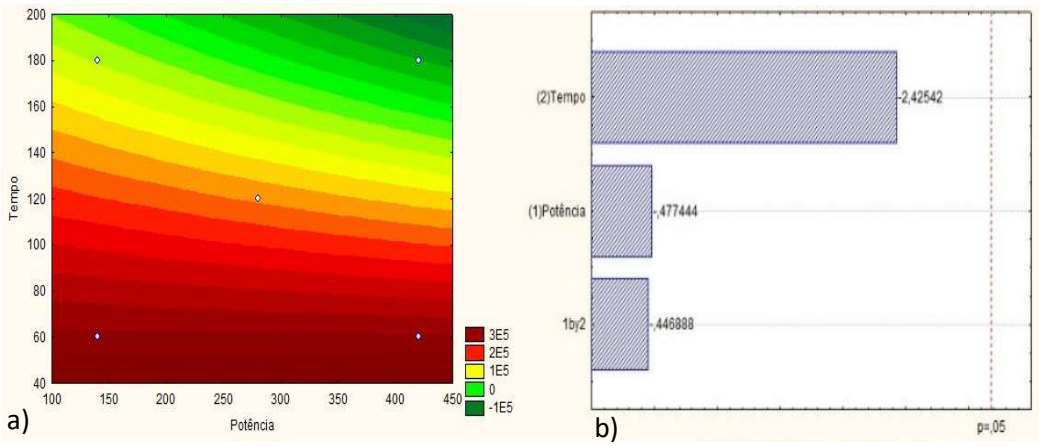
Para o delineamento fatorial utilizou-se o programa STATISTICA 12.1, que permite a elaboração dos gráficos de Pareto, superfície de resposta e curvas de contorno. Para a comparação das médias, foi aplicado análise de variância e teste de Tukey a 5% de significância, utilizando o software SISVAR.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Bolores, Leveduras e Mesófilos Aeróbios

A contagem de bolores e leveduras apresentou queda significativa com o aumento do tempo e da potência, conforme evidenciado pelo gráfico de superfície (Figura 1a). As menores concentrações microbianas foram observadas sob condições combinadas de maior tempo e potência, com áreas verdes indicando quase total inativação. O gráfico de Pareto (Figura 2b) revelou que apenas o tempo foi estatisticamente significativo (efeito = -2,43; $p < 0,05$). A potência e a interação entre os fatores mostraram efeitos menores e não significativos, mas com tendência de contribuição para a redução microbiana.

Figura 1 – Análise de Bolores e Leveduras: (a) Gráfico de contorno, (b) gráfico de Pareto.



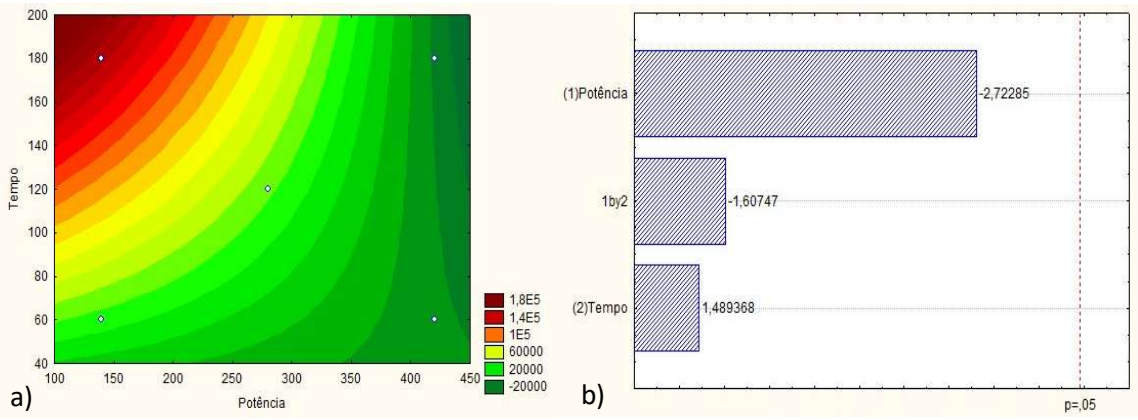
Fonte: Autores, 2025

Esses resultados apontam o tempo como o principal fator para inativação de BL no suco de acerola, reforçando a necessidade de um tempo adequado de retenção térmica. De acordo com (16), resultado semelhante foi descrito em que observaram redução expressiva de bolores e leveduras com o aumento do tempo de micro-ondas, reforçando a importância desse parâmetro no controle microbiano. Já em outro estudo, também destacam que tempos bem ajustados promovem segurança microbiológica com menor impacto nos compostos bioativos. Portanto, o controle preciso do tempo de exposição durante o processamento por micro-ondas é essencial para garantir a redução eficaz de bolores e leveduras, sem comprometer a qualidade sensorial e nutricional do produto (17).

A potência do micro-ondas mostrou-se o principal fator responsável pela redução de microrganismos mesófilos, uma vez que altas intensidades promovem elevação da temperatura interna e consequente degradação celular. Estudos como os de (14) e (4) reforçam esse efeito, destacando que potências elevadas resultam em maior inativação, enquanto o tempo atua de forma coadjuvante. Dessa forma, o ajuste adequado da potência é essencial para otimizar a eficiência do tratamento térmico por micro-ondas, assegurando a segurança microbiológica do suco de acerola com mínima perda de qualidade (18).

Os resultados experimentais estão representados na Figura 2. O gráfico de contorno (Figura 2a) evidencia que as menores contagens de microrganismos foram obtidas em regiões de alta potência (>350 W), mesmo em tempos moderados, confirmando o papel predominante da intensidade térmica na inativação. Já o gráfico de Pareto (Figura 2b) demonstra que a potência foi estatisticamente significativa (efeito = -2,72; $p < 0,05$), enquanto a interação (-1,61) e o tempo isolado (1,49) apresentaram apenas influência complementar, sem significância estatística.

Figura 2 – Análise de microrganismos mesófilos aeróbios: (a) Gráfico de contorno, (b) gráfico de Pareto.

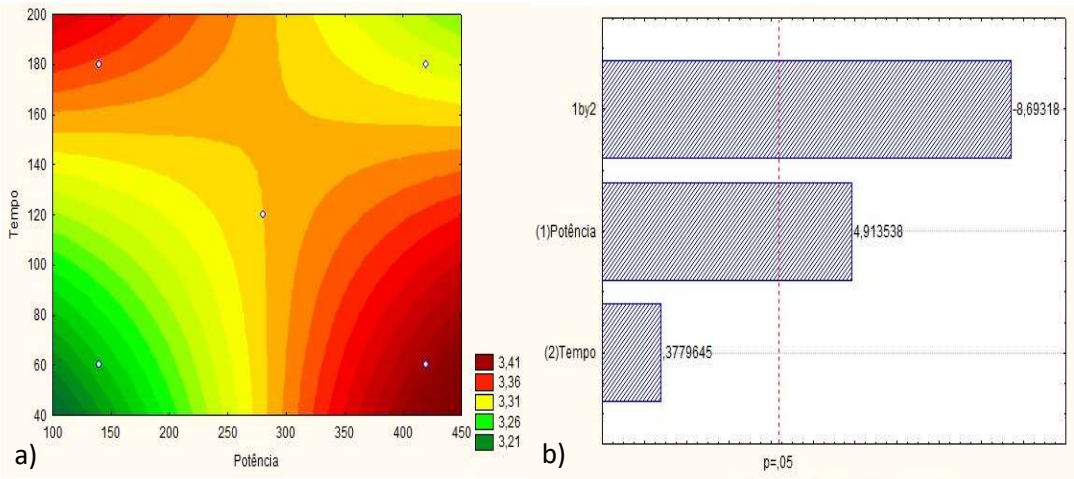


Fonte: Autores, 2025.

pH

O comportamento do pH do suco de acerola foi influenciado pelas variáveis tempo e potência do micro-ondas. De acordo com o gráfico de contorno (Figura 3a), os menores valores (~3,21) foram observados em condições intermediárias, como potência moderada (140 W) e tempo reduzido (60 s). Já nas bordas do gráfico, que representam tratamentos mais intensos, ocorreu elevação gradual do pH (~3,41). As regiões em tons verdes indicam valores mais ácidos, típicos de tratamentos leves, enquanto os tons alaranjados/vermelhos refletem maior pH, associado a condições mais severas. Esse efeito pode estar relacionado à degradação de ácidos orgânicos e à formação de compostos alcalinos decorrentes de reações de Maillard.

Figura 3 – Gráficos de análise de pH: (a) Gráfico de contorno, (b) gráfico de Pareto.



Fonte: Autores, 2025

O gráfico de Pareto (Figura 3b) reforça esses achados ao mostrar que tanto a interação entre tempo e potência (efeito = 8,69) quanto a potência isolada (efeito = 4,91) foram estatisticamente significativas ($p < 0,05$), confirmando seu papel determinante sobre o pH. Em contrapartida, o tempo

isolado (efeito = 0,38) não apresentou significância, indicando que seu impacto depende da associação com a potência.

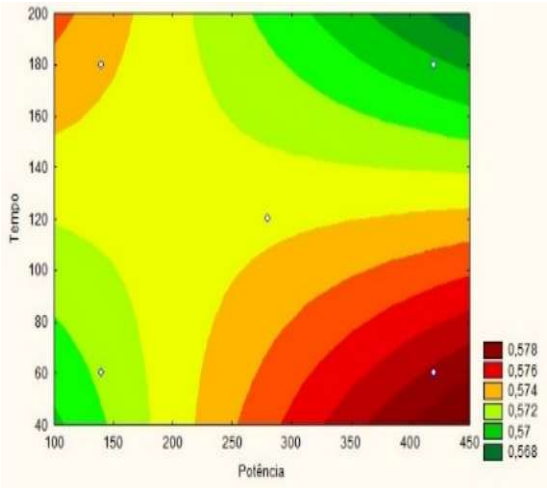
A análise estatística revelou que a interação tempo x potência (efeito = 8,69) e a potência isolada (efeito = 4,91) foram estatisticamente significativas ($p < 0,05$), enquanto o tempo sozinho não apresentou significância (efeito = 0,38), confirmando o papel combinado dos fatores sobre o pH. Estudos anteriores reforçam esses achados: o micro-ondas preserva melhor os compostos bioativos e altera propriedades físico-químicas de forma distinta da pasteurização convencional (5), e também promove alterações significativas no pH e estabilidade de compostos em bebidas funcionais (6).

.

Acidez Titulável

A acidez titulável (ATT) do suco de acerola foi influenciada pelas variáveis tempo e potência do micro-ondas. O gráfico de contorno (Figura 4) mostrou menores valores (~0,568) em condições intermediárias (~250 W e 120 s), enquanto tratamentos mais intensos, localizados nas bordas do gráfico, resultaram em aumento da acidez. Esse comportamento sugere um equilíbrio entre a degradação de ácidos orgânicos e a preservação de compostos tamponantes, indicando que condições moderadas de processamento favorecem a manutenção da acidez natural do suco.

Figura 4 - Análise de acidez titulável: Gráfico de contorno.



Fonte: Autores, 2025.

Esses achados são consistentes com estudos que relatam maior preservação da acidez sob aquecimento moderado e aumento da liberação de ácidos em tratamentos mais severos (7–9), reforçando a ATT como parâmetro crítico para a otimização da do tratamento térmico por micro-ondas.

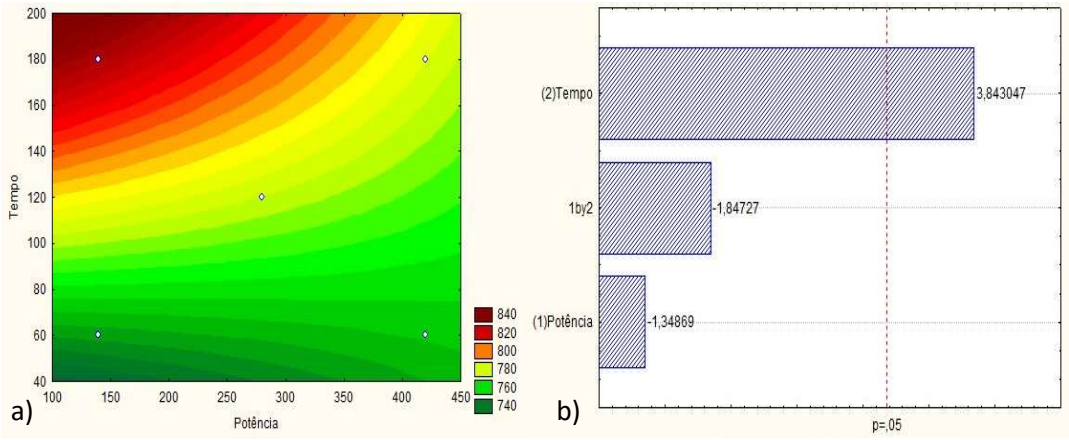
.

Ácido Ascórbico (Vitamina C)

A concentração de vitamina C no suco de acerola variou em função do tempo e da potência do micro-ondas. O gráfico de contorno (Figura 5a) evidenciou maiores teores em condições suaves, como baixa potência (140 W) associada a tempo prolongado (60 s), representadas pelas áreas em vermelho. Em contrapartida, tratamentos mais intensos, especialmente a combinação de alta potência (420 W) com tempo reduzido, resultaram nas menores concentrações, destacadas pelas áreas em verde, indicando que a degradação é mais acentuada sob aquecimento rápido e intenso.

O gráfico de Pareto (Figura 5b) confirmou que apenas o tempo foi estatisticamente significativo ($p < 0,05$), com efeito padronizado de 3,84, enquanto a potência e a interação não apresentaram significância. Esses resultados indicam que o tempo de exposição é o fator mais crítico para a preservação da vitamina C durante o processamento por micro-ondas.

Figura 5 – Análise de Ácido ascórbico: (a) Gráfico de contorno, (b) gráfico de Pareto.



Fonte: Autores, 2025.

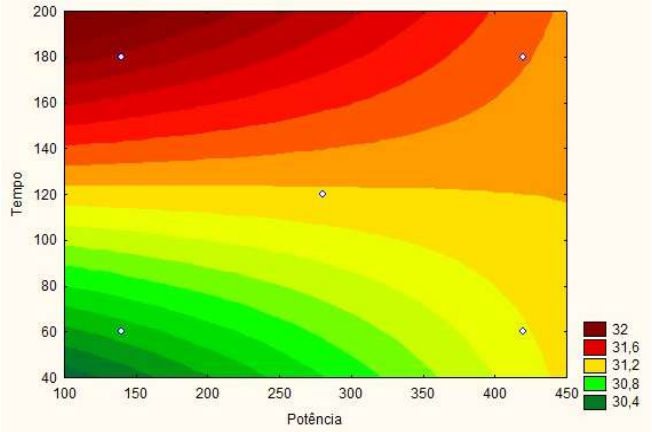
Estudos recentes corroboram esses achados, mostrando que condições suaves de processamento favorecem a preservação de compostos bioativos em bebidas de citros e maqui (10), bem como em sucos cítricos (11). De forma semelhante, em suco de laranja foi observado que o aumento da severidade térmica acelerou a degradação da vitamina C, reforçando, assim como em nosso estudo, que o tempo é o fator determinante para sua preservação (21).

Parâmetros de Cor (L, a, b*, Chroma e Hue)**

L (Luminosidade)*

A variável L* foi influenciada principalmente pelo tempo de exposição ao micro-ondas, como demonstrado nos gráficos de superfície e contorno (Figura 5). Observou-se redução dos valores de luminosidade com o aumento do tempo de processamento, indicando escurecimento progressivo do suco.

Figura 5 – Análise de Cor -L: Gráfico de contorno.



Fonte: Autores, 2025.

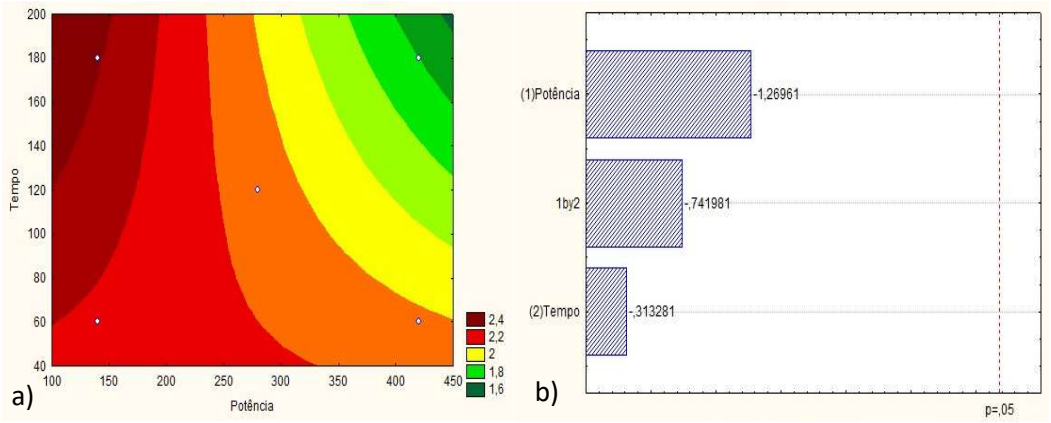
As maiores intensidades de L* foram registradas em tempos curtos, independentemente da potência. Esse comportamento está relacionado à degradação de pigmentos termossensíveis, como antocianinas e carotenóides, além da possível formação de pigmentos escuros oriundos de reações de Maillard e caramelização. Esses resultados estão de acordo com estudos anteriores onde observaram que tratamentos mais intensos em mirtilos reduziram o parâmetro L*, indicando escurecimento, assim como em nosso estudo, onde condições suaves preservaram melhor a claridade do suco de acerola (12).

De forma geral, o controle do tempo de exposição se mostra essencial para a manutenção da luminosidade, parâmetro diretamente relacionado à qualidade visual e aceitação sensorial. Estratégias que combinem potências mais altas com tempos curtos podem minimizar os efeitos negativos sobre a cor, desde que bem controladas.

a (Matiz vermelho/verde)*

A variável a*, que indica a intensidade da coloração vermelha, foi reduzida com o aumento da potência do micro-ondas, como evidenciado no gráfico de superfície (Figura 6a). Os menores valores de a* (~1,6 a 2,0) foram registrados sob condições de alta potência e tempo prolongado, refletindo perda de pigmentos vermelhos como antocianinas e licopeno.

Figura 6 – Análise de Cor - a: (a) Gráfico de contorno, (b) gráfico de Pareto.



Fonte: Autores, 2025.

O gráfico de Pareto (Figura 6b) confirmou que a potência foi o fator com maior efeito negativo padronizado (-1,27), sendo o único estatisticamente significativo ($p < 0,05$). A interação tempo x potência apresentou efeito intermediário (-0,74), enquanto o tempo isolado teve o menor impacto (-0,31), indicando que a intensidade térmica tem maior influência que a duração. Esse padrão está relacionado à degradação térmica de pigmentos naturais e à oxidação de compostos fenólicos sensíveis ao calor. Um estudo mostrou que o aumento da potência do micro-ondas em fatias de cenoura levou à diminuição do parâmetro a*, indicando perda de pigmentos vermelhos. Esse padrão é consistente com nossos resultados em suco de acerola, nos quais valores de a* mais baixos foram registrados sob alta potência, reforçando que a intensidade térmica é o fator predominante na degradação de pigmentos naturais e na redução da coloração vermelha (13).

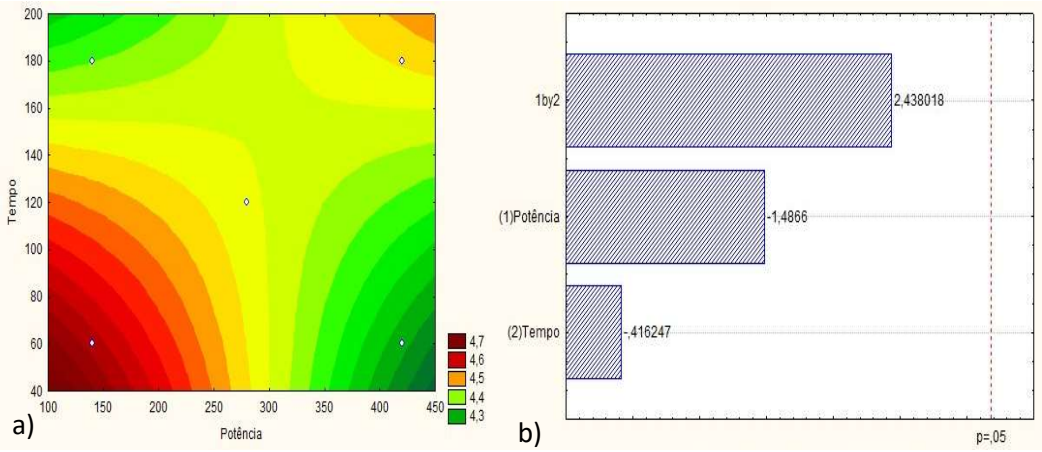
De forma geral, a variável a* é fortemente afetada pela potência aplicada, sendo necessário ajustar cuidadosamente os parâmetros de processamento para minimizar a degradação da coloração vermelha e preservar a qualidade visual do produto.

b (Matiz amarelo/azul)*

A variável b* apresentou comportamento dependente da interação entre tempo e potência, com os maiores valores em condições intermediárias (~250 W e 120 s), como evidencia o gráfico de superfície (Figura 7a). Condições extremas resultaram em menor resposta, indicando que tanto excesso quanto insuficiência de energia prejudicam a preservação da cor.

O gráfico de Pareto (Figura 7b) apontou a interação entre os fatores como o efeito mais significativo (efeito = 2,44; $p < 0,05$), seguido da potência isolada (-1,49). O tempo, isoladamente, não foi significativo. Esse resultado demonstra que não apenas os fatores isolados, mas especialmente sua combinação, é determinante para a maximização da resposta.

Figura 7 – Análise de Cor - b: (a) Gráfico de contorno, (b) gráfico de Pareto.



Fonte: Autores, 2025.

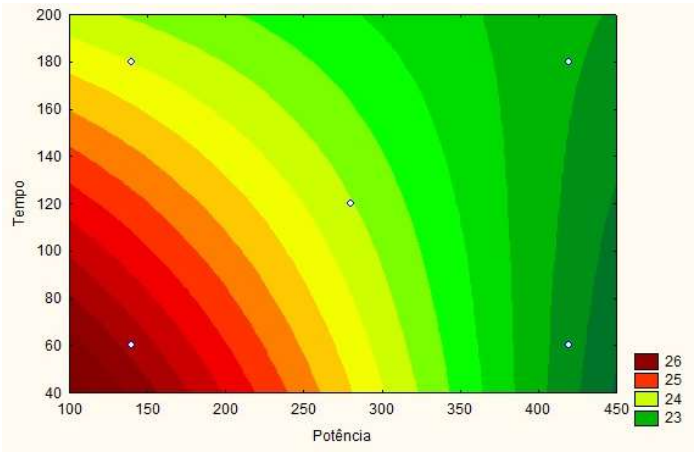
No contexto do presente trabalho, os dados sugerem a existência de uma faixa operacional ótima, na qual o equilíbrio entre tempo e potência promove melhores respostas para b*, possivelmente associadas à integridade, estabilidade e rendimento do material processado. Estudo recente onde investigaram a influência da radiação de micro-ondas na perda da cor verde em pó de chá verde, foi observado que o aumento da potência acelera o escurecimento, com a estabilidade da cor sendo afetada tanto pelo tempo quanto pela intensidade do tratamento. Esses resultados são semelhantes aos nossos, que indicam que a faixa operacional ótima de potência e tempo é crucial para manter a estabilidade da cor em produtos vegetais processados por micro-ondas (14).

Chroma (Intensidade da cor)

A intensidade da cor (chroma) diminuiu com o aumento da potência e do tempo de exposição ao micro-ondas. Os maiores valores foram observados em condições de baixa potência (100–200 W) e tempos curtos, sugerindo que temperaturas mais baixas evitam a degradação de pigmentos sensíveis como as antocianinas. Esses resultados são reforçados por estudos que demonstram que o aumento da temperatura provoca degradação das antocianinas, reduzindo a intensidade da cor, o que confirma nossos achados: maior potência e tempo no micro-ondas diminuíram o chroma. Assim, condições de baixa potência e tempo curto preservam melhor os pigmentos sensíveis (15).

O comportamento do chroma em função das variáveis de processo pode ser visualizado no gráfico de superfície (Figura 8).

Figura 8 – Análise de Cor - b: Gráfico de contorno.



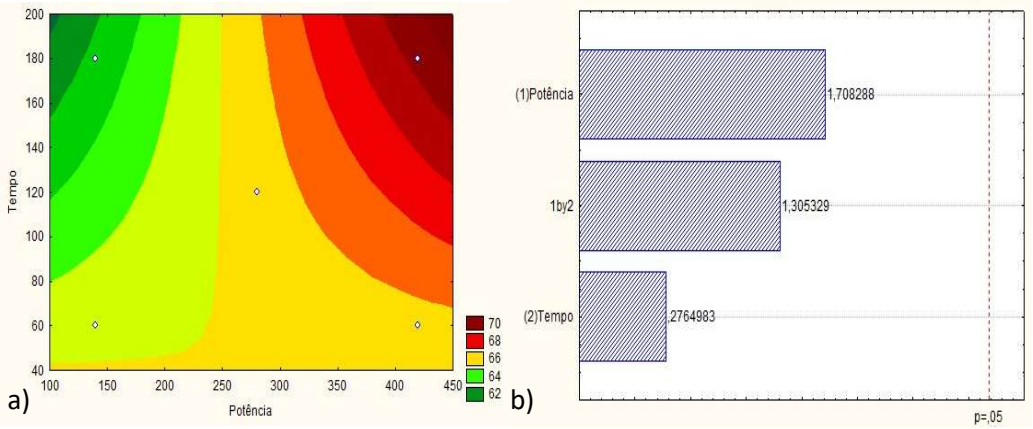
Fonte: Autores, 2025.

Os gradientes observados nas figuras revelam que, mesmo com tempo reduzido, o aumento da potência compromete a intensidade da cor, impactando diretamente na aparência e aceitação visual do produto. Dessa forma, o uso de baixas potências se mostra mais favorável à preservação da coloração, indicando a importância da otimização dos parâmetros térmicos para garantir a qualidade visual e funcional do suco processado.

Hue (Ângulo tonal)

O ângulo de matiz (hue) aumentou com a elevação da potência do micro-ondas, como mostra o gráfico de superfície (Figura 9a) indicando mudança na coloração do suco para tons mais amarelados. Esse comportamento está relacionado à degradação de pigmentos vermelhos e à formação de compostos oriundos de reações de escurecimento não enzimático.

Figura 9 – Análise de Cor - Hue: (a) Gráfico de contorno, (b) gráfico de Pareto.



Fonte: Autores, 2025.

O gráfico de Pareto (Figura 9b) apontou a potência como o fator de maior efeito padronizado (1,71), embora sem significância estatística. A interação entre tempo e potência também teve influência considerável (1,31), enquanto o tempo isolado exerceu impacto reduzido (0,28). Esses resultados indicam que a alteração do hue depende mais da intensidade energética do que da duração.

Em contraste, estudos com a secagem de abobrinha por micro-ondas mostrou que o aumento de potência e tempo reduziu o hue, indicando alteração da cor para tonalidades menos saturadas. Isso sugere que, embora o hue seja sensível à intensidade energética, a direção da mudança depende da estabilidade dos pigmentos de cada alimento (23). Assim, o processamento por micro-ondas requer ajustes de tempo e potência para minimizar perdas visuais, já que a preservação da cor depende do controle térmico sobre os compostos cromofóricos naturais.

Análise Estatística: Teste de Tukey

Os resultados experimentais foram analisados estatisticamente por meio de análise de variância (ANOVA) de acordo com as Tabelas 2, 3 e 4, com nível de significância de 5% ($p < 0,05$), a fim de verificar os efeitos principais e suas interações no modelo fatorial 2^2. Para as variáveis que apresentaram diferença significativa, foi aplicado o teste de médias de Tukey para comparação entre os tratamentos.

Tabela 2 – Médias das análises do suco de acerola sob diferentes tratamentos térmicos

Potência	tempo	ATT (g/100g)	TA (%)	pH	Vit C (g/100g)
0	0	0,5602± 0,0020**b**	98,0050± 0,0917**ba**	3,22± 0,03**b**	0,7445± 0,0274**ns**
140	60	0,5745± 0,0103**ba**	97,9267± 0,0577**ba**	3,23± 0,07**b**	0,7415± 0,0231**ns**
140	180	0,5817± 0,0162**ba**	97,5533± 0,4186**b**	3,32± 0,08**ba**	0,8277± 0,1440**ns**
280	60	0,5843± 0,0061**ba**	97,9100± 0,03**ba**	3,39± 0,03**a**	0,7855± 0,0328**ns**
280	180	0,5701± 0,0125**ba**	97,9467± 0,1021**ba**	3,30± 0,04**ba**	0,7833± 0,0472**ns**
240	120	0,5681± 0,0126**ba**	98,0700± 0,0984**a**	3,3233± 0,0152**ba**	0,7561± 0,0194**ns**
240	120	0,5757± 0,003163**ba**	97,8967± 0,09176**ba**	3,3300± 0,04**ba**	0,7876± 0,059559**ns**
PC	-	0,5986± 0,0155**a**	97,7200± 0,00577**ba**	3,3100± 0,0173**ba**	0,7911± 0,0092**ns**

Letras iguais na linha indicam ausência de diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Autores, 2025.

Na Tabela 2, estão apresentados os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas do suco de acerola submetido a diferentes combinações de potência (W) e tempo (s) de tratamento térmico por micro-ondas, além da pasteurização convencional (PC) como controle. As variáveis analisadas foram acidez titulável (ATT), teor de água (TA), pH, vitamina C (Vit C), contagem de mesófilos e bolores. As letras sobrescritas (a, b, c, etc.) indicam os resultados do teste de comparação múltipla de médias (Teste de Tukey a 5% de significância), realizado após análise de variância (ANOVA). Médias que compartilham ao menos uma mesma letra não diferem estatisticamente entre si, enquanto aquelas com letras diferentes indicam diferenças significativas.

Na Tabela 3, foram apresentados os resultados das contagens microbiológicas de microrganismos mesófilos e bolores (UFC/mL) nos diferentes tratamentos aplicados ao suco de acerola. Os dados estão expressos como média ± desvio padrão, e as letras minúsculas indicam

diferenças significativas entre os tratamentos para mesófilos, conforme teste de Tukey ($p < 0,05$). Para as contagens de bolores, não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos.

Tabela 3 - Contagem de microrganismos mesófilos e bolores (UFC/mL) no suco de acerola submetido a diferentes tratamentos térmicos.

Mesófilos (UFC/mL)	Bolores (UFC/mL)
1,6 x 10^6± 3,9 x 10^4 **ba**	1,10 x 10^6± 7,1 x 10^4 **ns**
2,15 x 10^6± 9,6 x 10^5 **ba**	1,21 x 10^5± 5 x 10^5 **NS**
4,2 x 10^5± 9,81 x 10^6 **ba**	1,37 x 10^6± 7,4 x 10^4 **ns**
0,35 ± x 3,5 x 10^5 **b**	0,02 ± 1,54 x 10^4 ns
2,4 x 10^4± 0 **b**	7,26 x10^4± 0 **ns**
1,4 x 10^6± 1,23 x 10^6± **b**	1,10 X 10^6± 1 x 10^6 **ns**
2,0 x 10^2± 3,46 x 10^2 **b**	1,73 X 10^5± 1,53 x 10^4 **Ns**
0±0**b**	0±0 **ns**

UFC/mL = Unidades formadoras de colônia por mililitro; ns = *Not significant*, ou seja, não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos ($p > 0,05$); ba, b = Letras minúsculas indicam grupos estatisticamente diferentes para mesófilos.
Fonte: Autores, 2025.

A Tabela 4 descreve os parâmetros de cor do suco de acerola submetido a diferentes tratamentos térmicos por micro-ondas e pasteurização convencional. Observou-se que a luminosidade (*L**), maior no controle (36,55), foi reduzida após os tratamentos, indicando escurecimento do produto possivelmente por degradação de pigmentos ou reações de Maillard. Os valores de *a** (vermelho) variaram pouco entre os tratamentos, sugerindo leve alteração da coloração avermelhada. Já o componente *b** (amarelo) foi mais elevado na pasteurização convencional, o que indica tendência ao amarelecimento. O ângulo de matiz (Hueº) aumentou após os tratamentos, com valores mais altos nos tratamentos mais intensos, revelando desvio da tonalidade original. Por fim, o Chroma foi maior na pasteurização convencional (29,26), refletindo

maior saturação da cor, embora alguns tratamentos por micro-ondas (como 240 W/120 s) também tenham mantido boa intensidade de cor. Esses resultados mostram que os tratamentos térmicos afetam a aparência visual do suco, sendo possível obter bons resultados com micro-ondas em condições otimizadas.

Tabela 4 - Parâmetros colorimétricos (*L**, *a**, *b**, Hueº e Chroma*) do suco de acerola submetido a diferentes combinações de potência e tempo no tratamento por micro-ondas, além da pasteurização convencional.

Potência	**tempo**	**L ***	**a***	**b***	**Hueº**	**Chroma***
0	0	36,5500± 0,4073**a**	2,0400± 0,0529**ba**	3,5233± 0,0404**b**	59,300± 0,4107**b**	16,5767± 0,486038**d**
140	60	30,2833± 0,4389**c**	1,7467± 0,1913**ba**	4,5467± 0,1137**ba**	68,9700± 2,54033**ba**	23,7500± 0,549454**cb**
140	180	30,6900± 0,0435**cb**	1,7000± 0,4794**ba**	4,3733± 0,0208**ba**	68,9000± 5,27875**ba**	22,1667± 1,873668**c**
280	60	30,3733± 0,2657**c**	1,7067± 0,2627**ba**	4,2267± 0,1686**ba**	67,9967± 3,57951**ba**	20,8367± 1,142862**c**
280	180	30,2033± 0,0750**c**	1,4900± 0,2455**b**	4,4900± 0,0916**ba**	71,6767± 2,62071**a**	22,4200± 1,390719**c**
240	120	30,3567± 0,2490**c**	2,1433± 0,1814**ba**	3,7233± 1,1893**b**	65,2433± 0,34063**ba**	23,5100± 0,190526**cb**
240	120	30,8767± 0,67678**cb**	2,4367± 0,3888**ba**	4,4233± 0,184481**ba**	61,1667± 4,85157**b**	25,6233± 0,590706**b**
PC	-	31,7000± 0,51739**b**	1,9900± 0,2615**a**	5,0300± 0,2402**b**	68,4100± 3,43602**ba**	29,2600± 1,50961**a**

*L** = Luminosidade; *a** = Componente vermelho (+)/verde (–); *b** = Componente amarelo (+)/azul (–); Hueº = Ângulo de matiz (tonalidade da cor); Chroma = Saturação ou intensidade da cor; PC = Pasteurização Convencional.
Fonte: Autores, 2025.

De modo geral, observam-se alterações importantes em função dos tratamentos térmicos, especialmente nas variáveis cor (parâmetros L*, a*, b*, Hue° e Chroma*), indicando que o processamento por micro-ondas modificou a aparência do suco. A contagem de mesófilos e bolores foi significativamente reduzida após os tratamentos, sendo nula em alguns casos, demonstrando a eficácia do processamento térmico na inativação microbiana. A vitamina C apresentou variações, mas sem diferenças estatísticas relevantes (ns) entre alguns tratamentos, indicando que o micro-

ondas pode preservar parcialmente este nutriente, dependendo da combinação de tempo e potência. O pH, de forma geral, manteve-se estável, com pequenas variações sem significância estatística em determinados tratamentos. Portanto, a tabela evidencia que a combinação de potência e tempo influencia significativamente diversas propriedades do suco, reforçando a importância da otimização dos parâmetros de processamento térmico para a manutenção da qualidade físico-química e microbiológica.

De forma semelhante ao nosso estudo, estudaram a inativação de *Escherichia coli* em suco de laranja com micro-ondas a 900 W por 33 segundos combinadas com ultrassom por 20 minutos. A combinação dos tratamentos foi mais eficaz que cada um isoladamente, alcançando uma redução de 8 log na contagem bacteriana, mostrando inativação total do patógeno (19).

CONCLUSÕES

O tratamento térmico por micro-ondas mostrou-se uma alternativa viável para a redução da carga microbiana no suco de acerola, com potencial para preservar parâmetros físico-químicos e sensoriais, a depender da combinação entre tempo e potência aplicada. A escolha criteriosa desses parâmetros permite alcançar um equilíbrio entre segurança microbiológica e manutenção da qualidade nutricional e sensorial do produto.As evidências sugerem que potências moderadas associadas a tempos mais longos favorecem a preservação da vitamina C e das características de cor, ao mesmo tempo em que promovem a inativação eficaz de bolores e leveduras. Adicionalmente, os resultados obtidos, com base na análise estatística pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), indicaram que as variáveis tempo e potência influenciaram significativamente as propriedades avaliadas, com destaque para a alteração nos parâmetros de cor, a redução da carga microbiana e a conservação parcial da vitamina C. Esses achados reforçam a importância da otimização do processo de micro-ondas como ferramenta estratégica para o desenvolvimento de produtos com maior valor agregado e estabilidade.

REFERÊNCIAS

1. 4. Sattar S, Imran M, Mushtaq Z, Ahmad MH, Arshad MS, Holmes M, Maycock J, Nisar MF, Khan MK. Retention and stability of bioactive compounds in functional peach beverage using pasteurization, microwave and ultrasound technologies. Food Sci Biotechnol. 2020;29(10):1381-8. doi:10.1007/s10068-020-00797-5.
2. Amaro KC, Russo G, Fan DL, Gut JAW, Tadini CC. Modeling and experimental validation of the time-temperature profile, pectin methylesterase inactivation, and ascorbic acid degradation during the continuous flow microwave-assisted pasteurization of orange juice. *Food and Bioproducts Processing.* 2024;144:1–12. doi:10.1016/j.fbp.2024.01.015.
3. Arjmandi M, Otón M, Artés-Hernández F, Gómez PA, Artés F, Aguayo E. Effect of microwave pasteurization on the quality of orange-colored smoothies. *J Food Sci Technol*. 2016;53(7):3695–703. doi:10.1007/s13197-016-2342-5.
4. Arslan D, Özcan MM. Investigation of microwave application time with constant pulse ratio on drying

of zucchini. Food Sci Nutr. 2023;11(19):6956-66. doi:10.1002/fsn3.3458.
5. Belwal T, Devkota PH, Hassan AH, Ahluwalia S, Ramadã FM, Atanasov GA. Phytopharmacology of acerola (Malpighia spp.) and its potential as a functional food. *Trends Food Sci Technol.* 2018;74:99-106. doi:10.1016/j.tifs.2018.01.014.
6. Çetin N, Günaydın S. The effect of gradually increasing microwave power on the drying kinetics, color parameters, and energy aspects of carrots. *J Food Eng.* 2024;370:111456. doi:10.1016/j.jfoodeng.2024.110456.
7. Hajdenwurcel, Judith Regina. *Atlas de microbiologia de alimentos: Volume I*. São Paulo: Fonte Comunicações e Editora, 1998.
8. Jayaprakash P, Mehta S, Kumar A. Effects of microwave processing on physicochemical properties of citrus juices. Food Res Int. 2023;164:112742. doi:10.1016/j.foodres.2023.112742.
9. Kernou ON, Ait-Amar Z, Bensouici A, Kheroua G, Kaddour K, Allaf K. Inactivation of Escherichia coli in an Orange Juice Beverage by Combined Ultrasonic and Microwave Treatment. Foods. 2023;12(3):666. doi:10.3390/foods12030666.
10. Kumar S, Singh P, Patel R. Influence of microwave power and treatment time on microbial safety of fruit juices. J Food Sci Technol. 2021;58(6):2200-8. doi:10.1007/s13197-020-04738-1.
11. Lamdande AG, Khabeer ST, Kulathooran R, Dasappa I. Application of microwave treatment for reduction of microbial load in jaggery cubes. *J Food Sci Technol*. 2023;60:1513–20. doi: 10.1007/s13197-023-05692-5.
12. López-Malo A, Alzamora SM, Palou E. Impact of thermal processing on acidity and quality attributes of fruit juices: A review. Food Control. 2021;127:108016. doi:10.1016/j.foodcont.2021.108016.
13. Mendonça KS, Corrêa JG, Junqueira JRJ, Souza AU. Two-stage power level to improve microwave vacuum drying of restructured Peruvian carrot chips. Ciênc Agrotec. 2023;47(1):e010523.
14. Nasiri A, Alvandi F, Hosseini SMH, Farahmandfar R. Application of microwave treatment on the quality of citrus juice: A kinetic modeling study. LWT. 2021;149:112999. doi:10.1016/j.lwt.2021.112999.
15. Nema RK, Jain D, Dubey A, Patel A. Effect of microwave treatment on fungal inactivation in fruit juices: A study on microbiological safety and quality. J Food Sci Technol. 2021;58(7):2661-70. doi:10.1007/s13197-020-04613-5.
16. Norouzi S, Orsat V, Dumont M-J. Improving Dehydration Efficiency and Quality in Highbush Blueberries via Combined Pulsed Microwave Pretreatment and Osmotic Dehydration. *Agriculture (Basel).* 2025;15(15):1602. doi:10.3390/agriculture15151602.
17. Salar FJ, Díaz-Morcillo A, Fayos-Fernández J, Monzó-Cabrera J, Sánchez-Bravo P, Domínguez-Perles R, et al. Microwave treatment vs. conventional pasteurization: The effect on phytochemical and microbiological quality for citrus–maqui beverages. *Foods.* 2024;13(1):101. doi:10.3390/foods13010101.
18. Salar FJ, Díaz-Morcillo A, Fayos-Fernández J, Monzó-Cabrera J, Sánchez-Bravo P, Domínguez-Perles R, Fernández PS, García-Viguera C, Periago PM. Microwave treatment vs. conventional pasteurization: The effect on phytochemical and microbiological quality for citrus–maqui beverages. Foods. 2024;13(1):101. doi:10.3390/foods13010101.
19. Salar FJ, Díaz-Morcillo A, Fayos-Fernández J, Monzó-Cabrera J, Sánchez-Bravo P, Domínguez-Perles R, Fernández PS, García-Viguera C, Periago PM. Microwave treatment vs. conventional pasteurization: The effect on phytochemical and microbiological quality for citrus–maqui beverages. Foods. 2024;13(1):101. doi:10.3390/foods13010101.
20. Silva, N. L., Crispim, J. M. S., & Vieira, R. P. (2022). Cinética da degradação térmica de antocianinas de alaybilí (*Vaccinium floribundum* Kunth) e macha-macha (*Gaultheria glomerata* (Cav.) Sleumer). *Brazilian Journal of Food Technology*, 25, e2022.
21. Singh R, Kumar P. Influence of microwave heating parameters on the quality of processed fruit juices. LWT. 2022;154:113000. doi:10.1016/j.lwt.2022.113000.

22. Wang H, Zhu Y, Xie D, Zhang H, Zhang Y, Jin P, Du Q. The effect of microwave radiation on the green color loss of green tea powder. Foods. 2022;11(16):2540. doi: 10.3390/foods11162540.
23. Xu M, Shen C, Zheng H, Xu C, Zhu B, Hu J. Metabolomic analysis of acerola cherry (Malpighia emarginata) fruit during ripening development via UPLC-Q-TOF and contribution to the antioxidant activity. *Food Res Int.* 2020;130:108915. doi:10.1016/j.foodres.2019.108915.

ESTUDO DE PERDA DE MASSA DO PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO DE CHIPS DE QUEIJO DO REINO NO FORNO MICRO-ONDAS

STUDY OF MASS LOSS IN THE DEHYDRATION PROCESS OF KNOWN CHEESE CHIPS IN THE MICROWAVE

DOI: 10.65747/conali2025v3c27

Jara Nicácio De Araújo Gomes[1]; João Pedro Ferreira[2]; Thamires Dos Anjos Lopes[3]; Krause Gonçalves Silveira Albuquerque [4]; Gerla Castello Branco Chinelate [5]; Alberto Einstein Pereira De Araújo [6]

[1]Graduanda em Engenharia de Alimentos, UFAPE; [2] Docente do Curso de Engenharia de Química, UFRPE; [3] Graduanda em Engenharia de Alimentos, UFAPE; [4] Mestrando em Ciências Ambientais, UFAPE; [5]Docente do Curso de Engenharia de Alimentos, UFAPE; [6]Docente do Curso de Engenharia de Alimentos, UFAPE;
Contato: jaranicacio04@gmail.com

Resumo: Este estudo avaliou a produção de chips de queijo do reino por desidratação em forno micro-ondas, com foco na perda de massa e nas alterações físico-químicas. Amostras padronizadas (2,6cm de diâmetro × 0,3cm de espessura) foram submetidas a sete combinações de potência (40-60%) e tempo (1-3 min). O tratamento mais eficiente foi o T4 (60% de potência, 3 minutos). Após o processamento, observou-se redução expressiva da umidade de (39,653 ± 0,697%) para (13,530 ± 1,567%) e da atividade de água de (0,881 ± 0,005) para (0,529 ± 0,034), garantindo maior estabilidade microbiológica. O teor de matéria gorda apresentou aumento relativo de (35,333 ± 4,714%) para (39,666 ± 0,471%) em decorrência da diminuição da umidade. Os chips obtidos no T4 apresentaram coloração dourada uniforme, textura crocante e boa integridade estrutural. A cinética de perda de massa demonstrou secagem rápida, típica do aquecimento volumétrico por micro-ondas. Conclui-se que essa técnica é eficiente para a obtenção de chips de queijo do reino e apresenta potencial de aplicação em escala industrial.

Palavras–chave: chips de queijo; desidratação de chips; queijo do reino; queijos; secagem por micro-ondas

Abstract: This study evaluated the production of Queijo do Reino chips by dehydration in a microwave oven, focusing on mass loss and physicochemical changes. Standardized samples (2.6cm in diameter × 0.3cm in thickness) were subjected to seven combinations of power (40-60%) and time (1–3 min). The most efficient treatment was T4 (60% power, 3 minutes). After processing, a significant reduction in moisture was observed from (39.653 ± 0.697%) to (3.530 ± 1.567%) as well as in water activity from (0.881 ± 0.005) to (0.529 ± 0.034), ensuring greater microbiological stability. The fat content showed a relative increase from (35.333 ± 4.714%) to (39.666 ± 0.471%) due to the decrease in moisture. Chips obtained in T4 presented a uniform golden color, crunchy texture, and good structural integrity. The mass loss kinetics demonstrated rapid drying, typical of volumetric microwave heating. It is concluded that this technique is efficient for obtaining Queijo do Reino chips and presents potential for industrial-scale application.

Keywords: cheese chips; cheeses; chip dehydration; microwave drying; queijo do reino (brazilian edam-style cheese)

INTRODUÇÃO

Queijos são amplamente consumidos em todo o mundo e possuem grande importância nutricional, cultural e econômica. No Brasil, a produção de queijo é uma atividade essencial do setor de laticínios, contribuído para o crescimento econômico e a geração de empregos em várias regiões. O país se destaca como um dos maiores produtores de queijo da América Latina, com uma vasta diversidade de tipos, desde os industrializados até os artesanais, que carregam forte identidade regional e histórica (1). Além do valor gastronômico, a cadeia produtiva do queijo movimenta bilhões de reais anualmente, sendo essencial para a sustentabilidade econômica de pequenos e médios produtores rurais (2).

Queijos como a muçarela, o prato e o requeijão culinário estão ganhando valor no mercado de commodities, de grande consumo, assim como os queijos finos, entre eles o queijo do reino. Esses produtos também estão ganhando reconhecimento e se consolidando como algumas das variedades mais apreciadas, especialmente no Brasil, devido ao seu sabor único e potencial para inserção no mercado internacional (3).

O queijo do Reino é tradicionalmente caracterizado por sua textura firme e casca fina, que apresenta uma coloração vermelha ou rósea, além de uma tonalidade interna alaranjada e com pequenas olhaduras. Seu sabor picante e aroma acentuado são características marcantes, assim como a embalagem, geralmente feita em latas hermeticamente fechadas, que ajudam na preservação de suas qualidades sensoriais (3). Além dessas características, a secagem desempenha um papel essencial na obtenção da textura e na redução da umidade do queijo, influenciando diretamente sua maturação e estabilidade microbiológica.

A secagem é uma técnica antiga que veio para conservar os alimentos que servem para retirar a água dos alimentos. Sendo uma prática utilizada na indústria, constantemente aprimorada para oferecer melhorias na conservação dos alimentos e redução do tempo de processamento. Contribui para minimizar o potencial de deterioração dos produtos durante o armazenamento, reduzir os custos de transporte e facilitar a padronização (4).

As micro-ondas são radiações eletromagnéticas que tem uma faixa de comprimentos de onda de 1mm e 1m, sendo assim ele consegue ter energia suficiente para interagir diretamente com os constituintes polares dos alimentos. Quando um alimento é exposto a um campo elétrico alternado, como o gerado pelas micro-ondas, as moléculas dipolares, sobretudo a água, tentam continuamente se realinhar com o campo, produzindo calor devido ao atrito interno gerado por essa movimentação intensa. Esse mecanismo resulta na rápida elevação da temperatura e, consequentemente, na evaporação da água presente no alimento. A eficiência desse processo não depende apenas das micro-ondas em si, mas também de fatores intrínsecos ao alimento, como o teor de umidade, a proporção de gordura e o tipo de proteína predominante na matriz, como caseínas e proteínas do soro, que afetam a forma como a energia é absorvida e distribuída (5,6,7).

Diante disso, o objetivo deste estudo é avaliar a perda de massa durante o processo de desidratação de chips de queijo do reino submetidos ao forno micro-ondas, visando compreender a eficiência da técnica e suas implicações nas características do produto final.

2.MATERIAL E MÉTODOS

2.1. MÉTODO EXPERIMENTAL

Os insumos utilizados para a elaboração das atividades propostas foram adquiridos no comércio local de Garanhuns - PE, sendo utilizado o queijo do reino como ingrediente principal para a produção dos chips.

As ações foram realizadas nos Laboratórios Multiusuários de Ciência e Tecnologia de Alimentos - SLCTAL da Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, localizada na cidade de Garanhuns/PE.

Os queijos foram fatiados com o auxílio de um fatiador, e as dimensões foram medidas com paquímetro, obtendo-se aproximadamente 2,6cm de diâmetro e 0,30cm de espessura. Na sequência, as fatias foram distribuídas uniformemente em papel manteiga apropriado e submetidas ao processo de secagem em forno de micro-ondas (LG, capacidade de 30L, 127V, frequência de 2,45GHz), conforme as condições experimentais estabelecidas. Antes da secagem todas as amostras foram pesadas. Após o término da secagem, as amostras foram transferidas para um dessecador e posteriormente medidas e pesadas para análise da perda de massa durante o processo. Foi selecionado o melhor tratamento, sobre o qual foram realizadas as análises de atividade de água, teor de gordura e umidade.

Tabela 1 - Variáveis níveis do planejamento experimental completo de 2^2, para os métodos de secagem estudados.

Tratamento	Tempo	T (ºC)
1	-1	-1
2	-1	+1
3	+1	+1
4	+1	-1
5	0	0
6	0	0
7	0	0

Fonte: Autores, 2025

Tabela 2 - Planejamento experimental dos tempos e potências dos tratamentos térmicos utilizados em forno de micro-ondas.

Tratamento	potência	Tempo(min)
1	40	1
2	60	1
3	40	3
4	60	3
5	50	2
6	50	2
7	50	2

Fonte: Autores, 2025

2.2. DETERMINAÇÃO ANALITICAS

O teor de gordura foi determinado pelo método de Van Gulik, seguindo as instruções da IN 68/2006, com a quantificação do extrato graxo seco (GES/FDB) para posterior comparação com o padrão legal estabelecido pela IN 48/2018, que utiliza a base seca como referência (13).

A determinação da umidade foi realizada em estufa convencional a 105 °C, utilizando cadinhos de porcelana ou metal previamente secos e pesados. Para cada amostra, foram pesadas aproximadamente 2 a 5g em triplicata. Os cadinhos contendo as amostras foram colocados na estufa até atingir secagem completa, sendo transferidos para um dessecador para resfriamento à temperatura ambiente entre as pesagens, repetindo-se o procedimento até que o peso se mantivesse constante, garantindo a estabilidade da medida. O percentual de umidade foi calculado pela relação:

$$\% \text{ Umidade} = N/P * 100$$

N = n° de gramas de umidade (perda de massa em g)

P = n° de gramas da amostra

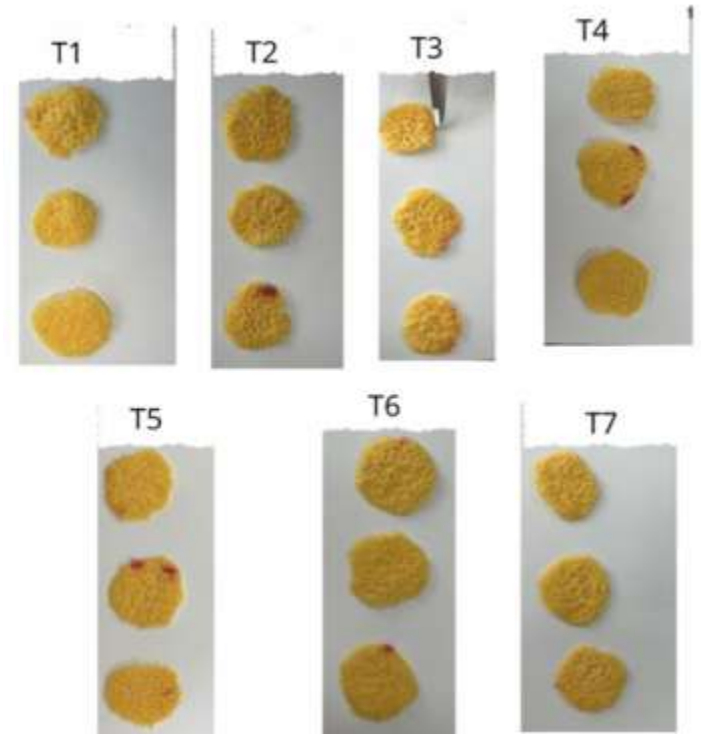
A atividade de água (aw) foi medida utilizando o equipamento AQUALAB, com sensor de constante dielétrica e termistores de condutividade elétrica. As leituras foram realizadas a temperatura ambiente, com calibração prévia utilizando padrões salinos. O aparelho apresenta exatidão de ± 0,015 aw e resolução de ± 0,001 aw, sendo a faixa operacional de 0,05 a 1,000 aw, com exatidão da temperatura da amostra de ± 0,2 °C. O volume de amostra utilizado foi de 7 ml (15 ml máximo), e o tempo de medição de aproximadamente 5 minutos. A interface de dados é compatível com RS232A (código ASCII de 8 bits, 9600baud, sem paridade, 1 bit de parada). O material do revestimento do equipamento é alumínio pintado a pó, com dimensões de 24,1 × 22,9 × 8,9 cm, peso de 3,2 kg e alimentação 110-220 V CA, 50/60 Hz, consumindo menos de 0,4 A. O equipamento é certificado pelo CE e aprovado pela AOAC para medição de aw.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. CARACTERIZAÇÃO VISUAL DOS CHIPS

A figura a seguir representam os chips de queijo após o processo de secagem realizado no forno micro-ondas.

Figura 1 - Amostras de chips de queijo do reino submetidas a diferentes tratamentos em forno micro-ondas.



Fonte: Autores, 2025

Após a secagem no forno micro-ondas, o melhor resultado foi obtido no tratamento T4. Os chips de queijo do reino apresentaram coloração dourada uniforme, textura crocante e boa formação. Conforme ilustrado na Figura 1, as imagens evidenciam que o tratamento T4 proporcionou uma secagem eficiente e equilibrada, resultando em produtos com boas características visuais e de textura para os chips.

Conforme observado na tabela 3, os chips de queijo do reino são submetidos aos diferentes tratamentos apresentaram mudanças dimensionais, evidenciando que o método de secagem influencia diretamente na deformação dimensional dos produtos, afetando comprimento e largura após o processamento de secagem. Segundo Sousa *et al.,* (9) existe uma tendência de aumento da difusividade efetiva com o incremento da espessura das amostras, o que influencia diretamente na eficiência da remoção de água durante o processo de secagem.

Tabela 3 - Dimensões (comprimento e largura) dos chips de queijo do reino após a secagem no forno micro-ondas.

Tratamento	Comprimento depois da secagem	Largura depois dessa secagem
1	38,98 ± 3,90	43,22 ± 4,12
2	42,57 ± 3,02	42,56 ± 1,22
3	41,05 ± 4,45	40,94 ± 3,43
4	36,60 ± 4,57	44,39 ± 2,21
5	38,95 ± 1,60	42,55 ± 2,04
6	42,74 ± 2,05	44,20 ± 0,84
7	43,11 ± 2,54	43,91 ± 1,93

Fonte: Autores, 2025

Chigbo *et al.,* (10) observaram que o aumento da espessura das fatias de banana provocou uma redução na taxa de secagem e resultou em diminuição da espessura e largura dos produtos ao final do processo, devido à perda de umidade. No presente estudo, no entanto, foi identificado um comportamento oposto, com aumento da espessura dos chips após a secagem. Essa diferença pode ser explicada pelas características próprias da matriz alimentícia utilizada, já que o queijo possui composição proteico-gordurosa, distinta da estrutura celular vegetal da banana.

3.2. CINÉTICA DE PERDA DE MASSA DOS CHIPS

Inicialmente, foi avaliada a perda de massa em todos os tratamentos. Em seguida, a análise da cinética de secagem foi realizada apenas para um tratamento específico de cada forno. A Tabela 4 apresenta os valores registrados de perda de massa em todos os tratamentos, acompanhada pela Figura 2, que apresenta esses resultados em formato de gráfico de barras.

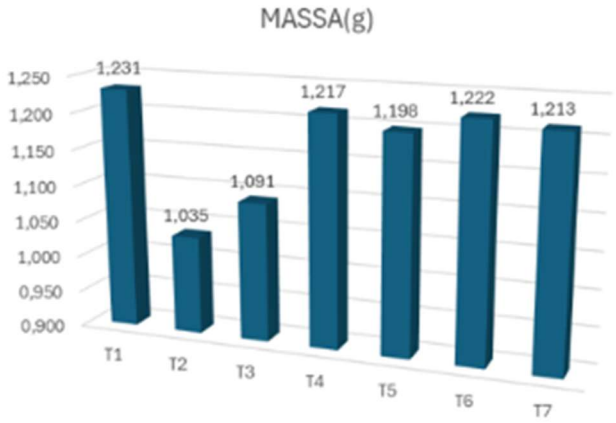
A cinética de secagem foi determinada apenas para o melhor tratamento, T4, por meio da medição do peso inicial das amostras e dos valores obtidos ao longo do tempo, até que a massa se estabilizasse. Esses dados possibilitaram a construção da curva de secagem, representando a perda de massa em função do tempo. A Tabela 5 apresenta os resultados registrados para o tratamento T4 no forno de micro-ondas.

Tabela 4 - Valores médios (± desvio padrão) da perda de massa (g) dos chips de queijo do reino em diferentes tratamentos no forno micro-ondas (n = 3).

Tratamento	Média Inicial da Perda de Massa (g)	Média Final da Perda de Massa (g)
1	2,785 ± 0,098	1,553 ± 0,261
2	2,611 ± 0,153	1,576 ± 0,076
3	2,669 ± 0,156	1,578 ± 0,149
4	2,838 ± 0,016	1,621 ± 0,032
5	2,834 ± 0,018	1,645 ± 0,020
6	2,861 ± 0,013	1,639 ± 0,013
7	2,866 ± 0,017	1,653 ± 0,026

Fonte: Autores, 2025

Figura 2 - Perda de massa (g) dos chips de queijo do reino em todos os tratamentos no forno micro-ondas, representada em gráfico de barras.



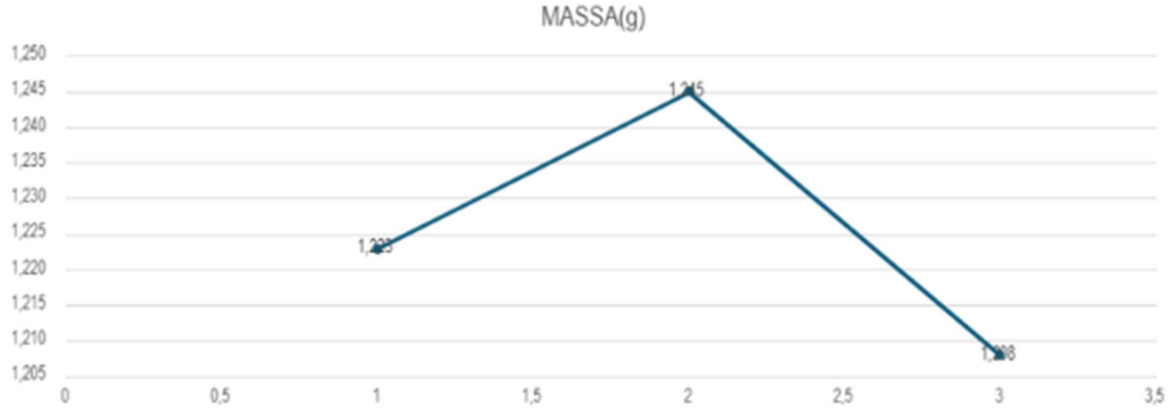
Fonte: Autores, 2025

Tabela 5 - Valores médios e desvios padrão da perda de massa das amostras submetidas ao tratamento T4 no forno micro-ondas (n = 3).

Tempo (min)	Média Inicial da Perda de Massa (g)	Média Final da Perda de Massa (g)
1	3,033 ± 0,010	1,810 ± 0,014
2	3,031 ± 0,007	1,786 ± 0,034
3	3,032 ± 0,011	1,824± 0,007

Fonte: Autores, 2025

Figura 3 - Valores médios e desvios padrão da perda de massa acumulada das amostras do tratamento T4 no forno micro-ondas (n = 3).



Fonte: Autores, 2025

A Tabela 5 apresenta os valores médios da perda de massa das amostras submetidas ao tratamento T4 no forno micro-ondas, considerando três tempos de exposição (1, 2 e 3 minutos). Para o cálculo da perda de massa, foi considerada a diferença entre a massa inicial e a massa final das amostras em cada tempo analisado.

Observa-se que, ao longo do tempo, ocorre uma redução da massa final em relação à massa inicial, evidenciando a perda de água ou de outros compostos voláteis durante o processo de aquecimento. No primeiro minuto, a diferença entre a massa inicial (3,033 g) e a final (1,810g) foi de aproximadamente 1,223g. Aos 2 minutos, essa diferença foi de 1,245 g, enquanto no terceiro minuto alcançou 1,208g.

Esses resultados, ilustrados na Figura 3, indicam que a maior perda de massa ocorreu no segundo minuto de aquecimento, com leve estabilização no terceiro minuto. Esse comportamento sugere que o processo de secagem foi mais intenso nos primeiros instantes do tratamento, tendendo a se estabilizar posteriormente, quando a quantidade de água residual disponível para evaporação já é menor.

3.2 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO DA COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

A Tabela 6 apresenta os valores médios, obtidos em triplicata, de gordura, atividade de água e umidade do queijo do reino e de seus chips.

O teor de gordura determinado para o queijo do reino foi de 35,33 ± 4,71%. A Instrução Normativa SDA/MAPA nº 48/2018 estabelece, para o queijo do reino, um mínimo de 45% de gordura no extrato seco (7). Vale destacar que os valores não são diretamente comparáveis, uma vez que o resultado experimental considera a amostra como foi obtida, enquanto o padrão legal se baseia

no extrato seco, o qual naturalmente concentra o teor de gordura. Dessa forma, o valor encontrado está dentro do esperado para o produto, considerando-se essa diferença metodológica.

Tabela 6 - Resultados das determinações da composição físico-química do queijo do reino e de seus chips (n = 3).

Determinação	Queijo do reino	Chips do queijo
Matéria gorda (%)	35,333 ± 4,714	39,666 ± 0,471
Atividade de água	0,881 ± 0,005	0,529 ± 0,034
Umidade	39,653 ± 0,697	13,530 ± 156,707

Fonte: Autores, 2025

O teor médio de umidade obtido para o queijo do reino foi de 39,653 ± 0,697 %, valor ligeiramente inferior ao limite máximo estabelecido pela Instrução Normativa SDA/MAPA n.º 48, de 29 de outubro de 2018, que determina 40 % como teor máximo de umidade para este tipo de queijo. A proximidade com o valor limite indica que o produto se encontra dentro do padrão legal, mantendo características físico-químicas compatíveis com o perfil esperado para queijos do reino. A variação observada (± 0,697 %) está dentro de uma faixa aceitável para amostras desse tipo, refletindo pequenas diferenças naturais entre unidades analisadas ou decorrentes do processo produtivo. Este resultado também sugere que o controle de umidade foi eficiente, o que é relevante para a conservação e a estabilidade sensorial do produto, visto que umidade excessiva pode comprometer a textura e favorecer o desenvolvimento microbiano.

O método de secagem por micro-ondas apresenta perda significativa de umidade. De acordo com Richards *et al.,* (8), o uso de micro-ondas a vácuo em queijos provolone promove redução acentuada desse parâmetro, contribuindo para a modificação da textura. No presente estudo, o queijo do reino apresentou teor inicial de umidade de 39,653 ± 0,697 %, reduzindo para 13,530 ± 0,707 % após o processamento em micro-ondas para obtenção dos chips de queijo. Essa diminuição expressiva confirma o comportamento descrito para o provolone, demonstrando que o micro-ondas é eficiente na remoção de água em queijos, independentemente do tipo, evidenciando sua capacidade de concentrar a matriz seca e alterar a estrutura do produto. Tarapata *et al.,* (11) verificaram que temperaturas elevadas aceleram a taxa de perda de umidade, especialmente em amostras com maior massa inicial, confirmando a eficiência do micro-ondas em comparação a métodos convencionais.

Em relação à atividade de água, também foi observada redução significativa nas amostras tratadas por micro-ondas. Essa diminuição é fundamental para a estabilidade microbiológica, visto que, segundo Araújo *et al.,* (12), valores de AW inferiores a 0,60 são considerados seguros para inibir o crescimento de microrganismos patogênicos e deteriorantes.

4. CONCLUSÕES

O presente estudo demonstrou que o processo de desidratação de chips de queijo do reino em forno micro-ondas é eficiente na redução da umidade e da atividade de água, promovendo maior estabilidade microbiológica e melhoria na textura do produto final. O tratamento T4 (60% de potência por 3 minutos) apresentou os melhores resultados, garantindo coloração dourada uniforme, crocância e boa integridade estrutural. A redução significativa de umidade, aliada ao aumento relativo da matéria gorda, evidencia que o micro-ondas é uma alternativa tecnológica viável para a elaboração de produtos inovadores à base de queijo, com potencial de aplicação em escala industrial. Além disso, os resultados corroboram estudos anteriores sobre a eficiência da secagem por micro-ondas, ressaltando a importância dessa técnica para a agregação de valor e diversificação de produtos lácteos no mercado.

REFERÊNCIAS

1. VIANA, L. A. Avaliação da condição microbiológica e da desidratação de queijos prato por secagem através do método de caixas plásticas empilháveis. 2022. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), 2022.
2. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Anuário leite 2024: indicadores da produção de leite no Brasil. Brasília, DF: Embrapa Gado de Leite, 2024.
3. FALCÃO, B. M. L.; PINTO, M. L. G.; COSTA, L. S. Queijo do Reino: caracterização físico-química de cor e textura. 2019. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos), 2019.
4. SILVA, T. K. P.; SILVA, K. L. P. Secagem de proteína do soro do queijo em secador de leito de jorro convencional: uma alternativa de proteção ambiental. (S.l.): Editora Licuri, 2023. p. 84–92.
5. RATTI, C. Advances in food dehydration. New York: CRC Press, 2009.
6. GURTLER, J. B.; DOYLE, M. P.; KORNACKI, J. L. The microbiological safety of low water activity foods. London: Springer, 2014.
7. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa SDA/MAPA nº 48, de 29 de outubro de 2018. Estabelece o padrão de identidade e qualidade para o queijo do reino. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 31 out. 2018. Seção 1, p. 9. Disponível em: https://wikisda.agricultura.gov.br/dipoa_baselegal/in_48-2018_rt_queijo_reino.pdf. Acesso em: 11 jul. 2025.
8. RICHARDS, D.; BARRETO, C.; LAURINDO, J. B. Queijos comerciais desidratados por processo de micro-ondas a vácuo: análise de textura. In: RIOS, A. O.; MEDEIROS, E. L.; SILVA, J. S. (org.). Avanços em ciência e tecnologia de alimentos. São Carlos: Editora Científica Digital, 2020. v. 1. Disponível em: https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/201001770.pdf. Acesso em: 11 jul. 2025.
9. SOUSA, E. P. de et al. Mathematical modeling of pequi pulp drying and effective diffusivity determination. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 21, n. 7, p. 493–498, 2017.
10. CHIGBO, K. S.; LINUS-CHIBUEZEH, A.; MOUFUNANYA, U. F.; ADINDU-LINUS, C. O.; ADEPOJU, F. O.; EKE, A. B.; OKECHUKWU, Q. N. Modelagem matemática dos efeitos da espessura e da temperatura na cinética de secagem em camada delgada de bananas secas em estufa (Musa spp., subgrp. ABB). Food Production, Processing and Nutrition, v.

6, n. 51, 2024. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1186/s43014-024-00233-9. Acesso em: 25 jul. 2025.
11. TARAPATA, N. A.; HRYHORIEVA, O. Y.; MALYSH, A. M. et al. Modeling of cheese drying process with control of moisture content and mass changes. Foods, v. 14, n. 2, p. 165, 2025. Disponível em: https://www.mdpi.com/2304-8158/14/2/165. Acesso em: 22 set. 2025.
12. ARAÚJO, M. F.; SILVA, D. R.; LOPES, G. M. et al. Atividade de água e segurança microbiológica em alimentos desidratados: uma revisão atualizada. Revista de Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 17, n. 2, p. 45–53, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.5935/rtcfa.v17n2.2022.005. Acesso em: 22 set. 2025.
13. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 68, de 12 de dezembro de 2006. Oficializa os métodos analíticos oficiais físico-químicos para controle de leite e produtos lácteos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 dez. 2006. Seção 1, p. 8.

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA: LÂMINAS BIOATIVAS À BASE DE XILOGLUCANA COMO ENVOLTÓRIO DE PRODUTOS DE PESCADO

TECHNOLOGICAL INNOVATION: XYLOGLUCAN-BASED BIOACTIVE SHEETS AS A WRAPPING FOR FISH PRODUCTS

DOI: 10.65747/conali2025v3c28

David de Sousa Ferreira[1]; Rafael Pereira Frota[2]; Maria Larissa Gomes Rodrigues[3]; João Bruno Guilherme Mendes[4]; Daniele Maria Alves Teixeira Sá[5]; Mirla Dayanny Pinto Farias[6]

[1]Estudante do Curso de Tecnologia em Alimentos - Eixo Produção Alimentícia – IFCE; [2]Estudante do Curso de Mecatrônica Industrial - Eixo Processos Industriais – IFCE; [3]Estudante do Curso de Tecnologia em Alimentos - Eixo Produção Alimentícia – IFCE; [4]Estudante do Curso de Tecnologia em Alimentos - Eixo Produção Alimentícia – IFCE; [5]Docente/pesquisador do Eixo de Produção Alimentícia – IFCE;
[6]Docente/pesquisador do Eixo de Produção Alimentícia – IFCE;
Contato: david.sousa.ferreira08@aluno.ifce.edu.br

Resumo: A tilápia (*Oreochromis niloticus*) é amplamente cultivada no Brasil, sendo o filé o principal produto comercializado. O baixo rendimento no processamento gera resíduos que podem ser aproveitados como carne mecanicamente separada (CMS). Neste estudo, avaliou-se a aplicação de lâminas bioativas à base de xiloglucana extraída de sementes de jatobá (*Hymenaea courbaril*), incorporadas com óleo essencial de orégano (*Origanum vulgare*), como envoltório para embutidos de CMS de tilápia. Foram produzidas lâminas com diferentes concentrações de óleo (0% e 2%). Os embutidos foram elaborados com aplicação das lâminas e avaliado o parâmetros: pH, atividade de água (Aw), umidade e cor (sistemas RGB e CIE L**a**b*). Os resultados mostraram que o pH das amostras tratadas se mantiveram dentro dos padrões aceitáveis, sugerindo estabilidade da formulação, embora não tenham sido observadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos para Aw e umidade, a presença de óleo de orégano influenciou positivamente os parâmetros de cor, especialmente nas tonalidades vermelha e amarela. Conclui-se que as lâminas bioativas apresentaram comportamento compatível com o produto padrão, demonstrando viabilidade como alternativa natural de revestimento. Recomenda-se a realização de estudos complementares para avaliar a ação antioxidante e otimizar a formulação quanto à concentração de ativos, tempo de contato e métodos de aplicação.

Palavras–chave: jatobá (*Hymenaea courbaril*); orégano (Origanum vulgare); tilápia (*Oreochromis niloticus*).

Abstract: Tilapia (*Oreochromis niloticus*) is widely farmed in Brazil, with fillets being the main commercial product. The low processing yield generates residues that can be utilized as mechanically separated meat (MSM). In this study, the application of bioactive films based on xyloglucan extracted from jatobá seeds (*Hymenaea courbaril*), incorporated with oregano essential oil (*Origanum vulgare*), was evaluated as a coating for MSM tilapia sausages. Films were produced with different oil concentrations (0% e 2%). The sausages were prepared with the application of the films, and the following parameters were evaluated: pH, water activity (Aw), moisture, and color (RGB and CIE Lab* systems). The results showed that the pH of the treated samples remained within acceptable standards, suggesting formulation stability. Although no significant statistical differences were observed among treatments for Aw and moisture, the presence of oregano essential oil positively influenced color parameters, especially in red and yellow tones. It was concluded that the bioactive films exhibited behavior compatible with the standard product, demonstrating feasibility as a natural coating alternative. Further studies are recommended to

evaluate the antioxidant action and optimize the formulation regarding active compound concentration, contact time, and application methods.

Keywords: jatobá (*Hymenaea courbaril*); oregano (*Origanum vulgare*); tilapia (*Oreochromis niloticus*).

INTRODUÇÃO

A crescente demanda global por alimentos sustentáveis tem impulsionado a busca por estratégias de valorização de subprodutos da agroindústria, alinhando a produção de alimentos à economia circular (1). Nesse cenário, a aquicultura, um dos setores de mais rápida expansão, enfrenta o desafio de gerenciar os resíduos gerados em suas cadeias produtivas. Uma das espécies com maior índice de produção na aquicultura nacional é a tilápia (*Oreochromis niloticus*), sendo o filé o produto mais comercializado. Este é amplamente preferido pelos consumidores devido à sua carne branca, isenta de espinhas e de sabor suave. No entanto, o processo de filetagem da tilápia apresenta um baixo rendimento, variando entre 30% e 35%, resultando na geração de grandes quantidades de subprodutos (2,3)

Uma das mais eficientes rotas para a valorização desses subprodutos é a produção de Carne Mecanicamente Separada (CMS), ou polpa de pescado. Considerada um alimento de fácil digestão e baixo valor calórico, a CMS é uma excelente fonte de vitaminas e minerais, especialmente cálcio, quando comparada a outros alimentos proteicos disponíveis no mercado. A legislação específica determina que a CMS deve ser obtida a partir da carne de carcaças de aves, bovinos, suínos ou outras espécies autorizadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, utilizando processos mecânicos que alteram a estrutura das fibras musculares (4). Devido ao seu elevado teor de proteínas miofibrilares (5) e baixo valor calórico, a CMS de pescado é uma base excelente para o desenvolvimento de produtos de maior valor agregado, como os embutidos (4).

A elaboração de embutidos de pescado apresenta instabilidade oxidativa. A CMS, por ter sua estrutura fibrilar alterada durante o processamento mecânico e por ser rica em ácidos graxos poli-insaturados, é extremamente suscetível à oxidação lipídica e proteica. Esses processos degradativos comprometem rapidamente as características sensoriais do produto formulado com esse material — como cor, sabor e textura — e diminuem sua vida útil, além de representarem riscos à segurança do alimento (5,7).

A legislação recente, tem reforçado a importância do uso de antioxidantes para garantir a qualidade e segurança desses produtos (8). Frente à crescente demanda dos consumidores por produtos com "rótulo limpo" (*clean label*), a indústria tem buscado substituir aditivos sintéticos por alternativas naturais. Os óleos essenciais surgem como uma fonte promissora de compostos bioativos com potente atividade antioxidante e antimicrobiana e têm emergido como alternativas naturais para a substituição de aditivos em alimentos (9). O óleo essencial de orégano (*Origanum*

vulgare L.) é extensamente documentado por sua capacidade de retardar a oxidação em produtos cárneos, atribuída principalmente aos seus compostos fenólicos, como o carvacrol e o timol (10,11).

A aplicação direta de óleos essenciais em alimentos, no entanto, é limitada por sua alta volatilidade, baixa solubilidade em matrizes aquosas e suscetibilidade à degradação pela luz e pelo oxigênio (12). Uma estratégia eficaz para superar tais limitações é a incorporação desses óleos em matrizes poliméricas, como filmes ou envoltórios comestíveis. Essa abordagem não apenas protege os compostos ativos, mas também garante sua liberação controlada diretamente na superfície do alimento, onde a oxidação é mais crítica.

Explorando a rica biodiversidade brasileira, a xiloglucana extraída das sementes de jatobá (*Hymenaea courbaril* var. *courbaril*) apresenta-se como um biopolímero interessante para essa finalidade. Este polissacarídeo possui excelentes propriedades filmogênicas e atua como um carreador eficaz para moléculas bioativas, sendo uma matéria-prima sustentável e de fonte nacional (13). A criação de um envoltório ativo, que combina as propriedades de barreira da xiloglucana com a capacidade antioxidante do óleo essencial de orégano, representa uma solução integrada e inovadora.

Portanto, este estudo objetivou-se desenvolver um embutido de pescado a partir de CMS de tilápia, utilizando como diferencial um envoltório comestível ativo à base de xiloglucana e óleo essencial de orégano. Foram avaliadas as características físico-químicas e de cor do envoltório isolado, sua interação e efeito quando aplicado ao embutido, criando um produto com maior valor agregado, estabilidade e apelo natural.

MATERIAL E MÉTODOS

Aquisição das matéria-prima

O preparo dos embutidos de tilápias tipo linguiça foi realizado na Planta Piloto de Carnes e Pescados no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - *Campus Sobral.* As CMS de tilápia foram adquiridas em comércios locais da cidade de Sobral, Ceará, mantidas a uma temperatura de 4°C. As sementes de jatobá (*Hymenaea courbaril var. courbaril*), utilizadas para a extração de xiloglucana, foram obtidas na cidade de Carnaubal, também no Ceará e o óleo de orégano foi adquirido em farmácia de manipulação (Farmafórmula).

Obtenção das lâminas de xiloglucana.

Para extrair a xiloglucana das sementes de jatobá (*Hymenaea courbaril var. courbaril*) foi empregada a metodologia descrita por Farias *et al*. (13). Com o auxílio de um processador (Oster Inox), o polissacarídeo foi triturado até obter-se uma textura em pó e passado por uma peneira convencional para a remoção de partículas grossas. Em seguida, foi realizada uma homogeneização com os ingredientes de acordo com a tabela 1, exceto o óleo de orégano, utilizando uma chapa aquecedora com agitação magnética (KA KMO 2 BASIC) à 40ºC por 1 hora, com intuito de melhor diluição dos produtos. Após o processamento, a solução foi envasada em tubos de Falcon e o óleo foi adicionado com uma pipeta volumétrica. Os tubos foram então submetidos a um banho ultrassônico da Unique (USC-2800A) por 10 minutos para a remoção de bolhas.

Tabela 1 – Formulação das lâminas de xiloglucana

Formulação	Água (ml)	Xiloglucana (g)	Glicerol (g)	óleo de orégano (ml)
LC	10	0,1	0,03	-
L2	9,8	0,1	0,03	0,2

LC (Lâmina controle à base de Xiloglucana sem adição de óleo de orégano. L2 (Lâmina controle à base de Xiloglucana adicionada de óleo de orégano a 2%).

Fonte: Autores, 2025

Para determinar a melhor concentração de óleo de orégano para a produção das lâminas de xiloglucana, foram inicialmente preparadas soluções com concentrações de 0% e 2%. Em seguida, as soluções foram envasadas em recipientes de polietileno com tamanho de 15 cm². Após o envase, os recipientes foram mantidos em temperatura ambiente por 3 dias, até a secagem completa das lâminas. Após o preparo das amostras todas foram submetidas à análise físico químicas para escolha da melhor lâmina.

Preparação da Massa do Embutido

A massa do embutido foi preparada na Planta Piloto de Carnes e Pescados do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - Campus Sobral, utilizando um cutter (METVISA, CUT8220M60N5) onde foram misturados os ingredientes, conforme descrito na tabela 2. A amostra controle (CC) os embutidos foram envasados com envoltório de colágeno.

Tabela 2 – Formulação da massa do embutido

Ingredientes	Percentual
CMS (g)	74%
Amido (g)	2,5%
Tempero completo (g)	1,5%
Sal (g)	1%
Glutamato monossódio (g)	1%
Óleo de soja (ml)	2%
Água gelada (ml)	18%

Fonte: Autores, 2025

Análises de Físico-Químicas dos Embutidos

As amostras dos embutidos com lâmina de xiloglucana foram avaliadas após 3 dias no congelador -18º C após contato da lâmina com óleo de orégano e o embutido, em triplicata no Laboratório de Biotecnologia do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Ceará - *Campus* Sobral. Todas as metodologias foram executadas de acordo com o Instituto Adolfo Lutz (14).

Atividade de Água

A análise da atividade de água foi conduzida em triplicata após os descongelamento e trituramento dos embutidos em cada uma das amostras, utilizando o dispositivo Portátil LabStart Novasina.

Análise de pH

A análise de pH foi realizada em triplicata utilizando um pHmetro digital (Even, modelo PHS-3E). Para cada 5g de amostra triturada foram diluídos em 50ml de água destilada levados para agitação até obter a leitura.

Análise de Umidade

A análise de umidade foi realizada em estufa Heraeus (T6) a 105ºC por 24 horas, utilizando 2 g de amostra triturada em cadinhos. Após o período de secagem, as amostras foram acondicionadas em dessecador por 1 hora e, em seguida, pesadas em balança analítica.

Análises de Cor

Sistema RGB

As linguiças foram inseridas individualmente em um suporte desenvolvido por meio de impressão 3D, conforme Silva *et al*. (15). As imagens foram capturadas utilizando um smartphone Android (Samsung galaxy S20 FE 5G) com o flash ativado, registrando toda a área da amostra e totalizando 15 imagens por tratamento nos respectivos períodos de análise.

A análise de cor, com base no sistema RGB, foi realizada por meio do processamento das imagens, onde se verifica o espaço de cores, no qual se mede a intensidade luminosa nas tonalidades vermelho (R), verde (G) e azul (B) (16).

Sistema *CIE L*a*b**

A análise de cor com base no sistema *CIE L* a* b**, foi realizada utilizando um colorímetro (Colorímetro Portátil da marca Delta Color, modelo Colorium 2). Todas as amostras de filés em triplicata foram avaliadas por meio de três parâmetros: *CIE L* a* b** (Comissão Internacional de Iluminação). O parâmetro *L** representa a luminosidade (L* = 0 preto e *L** = 100 branco), enquanto *a** e *b** indicam a cromaticidade (+*a** vermelho, -*a** verde; +*b** amarelo, -*b** azul) (26).

Análise estatística

Os resultados foram apresentados como média ± desvio padrão e avaliados por meio do software OriginPro, com as médias comparadas pelo teste de Tukey, considerando um nível de significância de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação de diferentes envoltórios nos embutidos de pescado promoveu alterações em seus parâmetros físico-químicos e de cor, conforme detalhado a seguir.

Ao analisar os parâmetros físico-químicos dos embutidos, que podem ser visualizados na tabela 3, foi possível compará-los aos padrões de identidade e qualidade expressos na legislação vigente.

Tabela 3 – Análises físico-químicas dos embutidos.

Analise	CC	LC	L2
pH	$6,78 \pm 0,01^{B}$	$6,88 \pm 0,07^{AB}$	$6,93 \pm 0,05^{A}$
Aw	$0,88 \pm 0,00^{A}$	$0,88 \pm 0,00^{A}$	$0,89 \pm 0,01^{A}$
Umidade	$70,4 \pm 1,1^{B}$	$73,3 \pm 0,3^{A}$	$71,4 \pm 1,1^{AB}$

CC (Controle com colágeno). LC (Lâmina controle à base de Xiloglucana sem adição de óleo de orégano). L2 (Lâmina controle à base de Xiloglucana adicionada de óleo de orégano a 2%)Valores expressos como média ± desvio padrão. Valores apresentam diferença significativa ($p<0,05$).

Fonte: Autores, 2025

O pH do tratamento L2 (6,93) foi significativamente superior ao do tratamento CC (6,78), o que pode ser atribuído a interações moleculares entre os componentes do óleo essencial e a matriz do embutido. Contudo, todos os valores se mantiveram dentro da faixa típica para produtos de pescado (pH 6-7) e abaixo do limite de 7,0 sugerido pela legislação para produtos cárneos cozidos (4). Um aumento acentuado do pH durante o armazenamento é frequentemente associado à degradação proteica e à rancificação (13). Embora não avaliado neste estudo, espera-se que a capacidade antioxidante do óleo de orégano contribua para mitigar essa elevação durante a vida de prateleira do produto.

A compreensão da atividade da água (Aw) em alimentos é um fator de grande importância visto sua influência em alterações físico-químicas dos alimentos, além de estarem associados ao crescimento de microrganismos e suas atividades metabólicas. No pescado a Aw influencia diretamente a qualidade e a estabilidade do produto relacionada a seus altos índices (17,18). Segundo Alexandre *et al.* (19), Moura, Souza e Almeida Filho (20), nota-se que os produtos à base de pescados apresentam demasiado volume de água livre, de modo a justificar os valores de 0,88 e 0,89 encontrados nas amostras, que não apresentaram diferenciações independente do tratamento. Bartolomeu *et al.* (21), também relatou o valor de 0,98 em mortadelas defumadas à base de peixe.

Quanto à umidade, observou-se que as amostras que continham as lâminas a base de xiloglucana na sua composição (LC e L2), apresentaram valores maiores em comparação CC. Segundo Klock (22) e Franzini *et al.* (23), as xiloglucanas possuem em suas estruturas demasiada porosidade, fazendo com que tenham capacidade de absorver mais umidade.

Análises de cor através dos sistemas RGB e *CIE L*a*b**

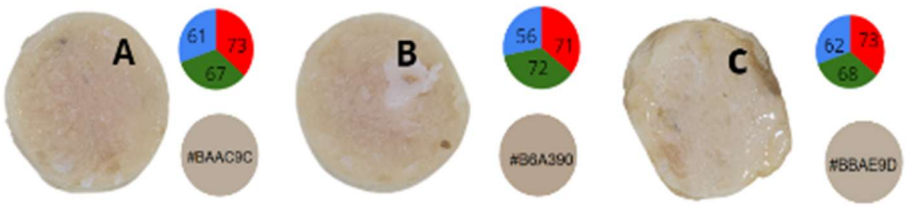
A cor é um atributo sensorial primordial para a aceitação de produtos cárneos. Os parâmetros de cor foram avaliados pelos sistemas RGB (Tabela 4 e Figura 1) e *CIE L*a*b** (Tabela 5).

Tabela 4 – Análise de cor através do sistema RGB dos embutidos.

Cor	CC	LC	L2
Red (R)	186,212 ± 0,0^{B}	182,939 ±0,00^{C}	187,984 ± 0,00^{A}
Green (G)	172,409 ± 0,00^{C}	163.670 ± 0,00^{A}	174,263 ± 0,00^{B}
Blue (B)	156,131 ± 0,00^{C}	144.457 ± 0,00^{B}	157,207 ± 0,00^{A}

CC (Controle com colageno. LC (Lâmina controle à base de Xiloglucana sem adição de óleo de orégano). L2 (Lâmina controle à base de Xiloglucana adicionada de óleo de orégano a 2%)Valores expressos como média ± desvio padrão. Valores apresentam diferença significativa (p<0,05).
Fonte: Autores, 2025

Figura 1 – Análise colorimétrica em embutidos.



Fonte: Autores, 2025

Nos valores referentes à cor vermelha (R), observou-se uma diferença significativa em todas as amostras. O tratamento L2 apresentou o valor mais alto de vermelho, indicando uma coloração mais intensa e atraente. Isso sugere que a adição de óleo de orégano exerce um efeito positivo na pigmentação, tornando o produto visualmente mais atrativo. Essa característica é crucial para a aceitação do consumidor, já que o primeiro contato com o produto é predominantemente visual.

A cor verde (G) não apresentou valores semelhantes entre os embutidos. O tratamento LC exibiu o menor valor, indicando que a ausência de óleo de orégano resulta em uma coloração menos vibrante. Em contrapartida, o L2 mostrou uma cor verde mais intensa em comparação ao LC, sugerindo que o óleo de orégano contribui para um melhor equilíbrio de cores. Esses resultados eram esperados, pois o óleo de orégano possui uma tonalidade esverdeada em sua composição.

A coloração Azul (B), não obteve semelhança estatisticamente entre as amostras. L2 novamente se destaca, apresentando o maior valor. Isso pode ser interpretado como um resultado da combinação dos ingredientes, que pode afetar a percepção da cor e a estabilidade do produto.

A análise de cor por meio do sistema *CIEL*a*b** pode expressar a forma de interpretar os aspectos sensoriais dos alimentos em relação aos critérios adotados no controle de qualidade (24). A percepção da cor está relacionada a quatro fatores fundamentais: a distribuição espectral da energia luminosa, as condições em que a cor é observada, os atributos espectrais do objeto referentes à absorção, reflexão e transmissão, e a sensibilidade do dispositivo de medição. Os resultados obtidos neste estudo encontram-se na tabela 5.

Tabela 5 – Análise de cor pelo sistema *CIE L*a*b** dos embutidos.

Cor	CC	LC	L2
L*	$70,65 \pm 0,35^{B}$	$76,57 \pm 0,36^{A}$	$70,36 \pm 0,24^{B}$
a*	$1,49 \pm 0,81^{A}$	$1,08 \pm 0,01^{A}$	$1,46 \pm 0,03^{A}$
b*	$2,42 \pm 0,52^{B}$	$1,28 \pm 0,06^{B}$	$3,81 \pm 0,05^{A}$

CC (Controle com colageno. LC (Lâmina controle à base de Xiloglucana sem adição de óleo de orégano). L2 (Lâmina controle à base de Xiloglucana adicionada de óleo de orégano a 2%)Valores expressos como média ± desvio padrão. Valores apresentam diferença significativa ($p<0,05$).
Fonte: Autores, 2025

A análise de luminosidade (*L**) revelou que os tratamentos CC e L2 foram similares entre si e significativamente menos claros que o LC. O envoltório de xiloglucana sem o óleo (LC) conferiu uma aparência mais clara ao produto, enquanto a adição de óleo de orégano (L2) resultou em um embutido com luminosidade comparável à do controle comercial (CC), um indicativo positivo de similaridade visual.

A cromaticidade *a** das amostras não apresentou diferença significativa entre os tratamentos, indicando que todas as formulações possuem uma pigmentação levemente avermelhada. Essa característica é comum em produtos à base de peixe, conforme observado em estudos anteriores. De acordo com Souza *et al.* (25) e Bartolomeu (21), que avaliaram embutidos à base de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*), os valores de *a** também tendem para o positivo, indicando uma leve tendência para a tonalidade avermelhada. Isso sugere que a presença de xiloglucana e óleo de orégano nas formulações não afetou significativamente a coloração vermelha dos embutidos, permanecendo dentro do padrão característico de produtos de peixe.

O parâmetro *b** observa-se que todas as amostras apresentam cores com tendência para tons amarelados. Ao avaliar as amostras CC e LC, não houve diferença significativa entre elas, com valores de 2,42 e 1,28, respectivamente. Apenas a amostra L2 apresentou um valor bem maior, de 3,81. Estes resultados eram esperados, devido à coloração naturalmente amarelada/esverdeada do óleo de orégano, que migrou da lâmina para o embutido durante os 3 dias de contato.

CONCLUSÕES

A aplicação do envoltório de xiloglucana incorporado com óleo essencial de orégano demonstrou ser uma estratégia viável para o desenvolvimento de embutidos de pescado com novas características. O envoltório ativo (L2) promoveu alterações pontuais e significativas nos parâmetros físico-químicos, como um leve aumento no pH e na intensidade da cor amarela, mantendo-se sempre dentro dos padrões de identidade e qualidade esperados para o produto.

A principal contribuição do envoltório ativo foi a modificação positiva da cor do embutido. O tratamento L2 resultou em um produto com luminosidade similar à do controle comercial e com maior intensidade na coloração amarela (parâmetro *b**), o que pode ser percebido como uma aparência mais elaborada e atraente. Como limitações deste estudo, o perfil antioxidante do envoltório e seus efeitos sobre a vida de prateleira do embutido não foram avaliados, assim como o impacto sensorial das formulações. Portanto, o envoltório ativo de xiloglucana com óleo de orégano se mostra promissor. Estudos futuros devem focar na avaliação da estabilidade oxidativa e microbiológica durante o armazenamento e em análises sensoriais para validar a aceitação do produto pelo consumidor.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, à FUNCAP, à SECITECE e ao CNPq pelo incentivo à pesquisa e pelo custeio que possibilitou a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

1. FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2024: Blue Transformation in action**. Rome. (2024).
2. BARROSO, R. M.; PINCINATO, R. B. M.; MUNOZ, A. E. P. **Informativo de Mercado da Tilápia: o mercado da tilápia – 2° trimestre de 2017 e análise da estrutura do preço da tilápia no varejo.** Palmas, TO: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2017. 19 p. Edição especial. Disponível em: https://www.embrapa.br/pesca-e-aquicultura/publicacoes/mercado-da-tilapia. Acesso em: 24 jul. 2025.
3. LUSTOSA-NETO, A. D.; NUNES, M. L.; FERREIRA, R. N. C.; BEZERRA, J. H. C.; FURTADO-NETO, M. A. A. Elaboração, rendimento e custo de almôndegas de tilápia do Nilo e pirarucu cultivados: aplicação na merenda escolar. **Acta Of Fisheries And Aquatic Resources**, (S.L.), v. 4, n. 2, p. 101-109, 20 out. 2016. Universidade Federal de Sergipe. http://dx.doi.org/10.2312/ACTAFISH.2016.4.2.101-109.
4. BRASIL. **Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017**. Regulamenta a Lei nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a Lei nº 7.889, de 23 de novembro de 1989, que dispõem sobre a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 30 mar. 2017.
5. GAMEZ - VILLAZANA, J. J.; MOLINA, J. J. F.; OJEDA, L. E. O. Pulpa De Pescado De Aguas Continentales Y Su Potencial Utilización En La Elaboración De Embutidos. **Revista Alimentos Hoy**, (S.L.), v. 29, n. 53, p. 81-111, 5 mar. 2021.

6. CABRAL, N. O. **AVALIAÇÃO DO EXTRATO DE PIMENTA CHAPÉU-DE-FRADE (Capsicum baccatum var. pendulum) EM LINGUIÇA FRESCAL SUÍNA**. 2018. 84 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência Animal, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2018.
7. MAGALHÃES, V. M. M. C.; SILVA, L. A. L.; LEITE, S. M.; ANDRADE, J. M. M.; SILVA, D. A.; RIBEIRO, A. G. Efeitos dos antioxidantes na produção da carne suína. **Research, Society And Development**, (S.L.), v. 11, n. 5, p. 1-12, 18 abr. 2022. Research, Society and Development. http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i5.26855.
8. BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução RDC nº 778, de 1 de março de 2023**. Dispõe sobre os princípios gerais, as funções tecnológicas e as condições de uso de aditivos alimentares e coadjuvantes de tecnologia em alimentos. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 8 mar. 2023.
9. RUIZ-NAVAJAS, Y.; VIUDA-MARTOS, M.; SENDRA, E.; PEREZ-ALVAREZ, J. A.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J. In vitro antibacterial and antioxidant properties of chitosan edible films incorporated with Thymus moroderi or Thymus piperella essential oils. **Food Control**, (S.L.), v. 30, n. 2, p. 386-392, abr. 2013. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.07.052.
10. PAULO, A. F. S.; BALAN, G. C.; SHIRAI, M. A. ÓLEO ESSENCIAL DE ORÉGANO (ORIGANUM VULGARE L.) NA PRODUÇÃO DE FILMES ATIVOS BIODEGRADÁVEIS. **Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Volume 4**, (S.L.), v. 4, n. 28, p. 430-443, 1 abr. 2021. Editora Científica Digital. http://dx.doi.org/10.37885/210203190.
11. FASSEAS, M. K.; MOUNTZOURIS, K. C.; TARANTILIS, P. A.; POLISSIOU, M.; ZERVAS, G. Antioxidant activity in meat treated with oregano and sage essential oils. **Food Chemistry,** v. 106, n. 3, p. 1188-1194, 2008.
12. JU, J.; CHEN, X.; XIE, Y.; YU, H.; GUO, Y.; CHENG, Y.; QIAN, H.; YAO, W. Application of essential oil as a sustained release preparation in food packaging. **Trends In Food Science & Technology**, (S.L.), v. 92, p. 22-32, out. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2019.08.005.
13. FARIAS, M. D. P.; ALBUQUERQUE, P. B. S.; SOARES, P. A. G.; SÁ, D. M. A. T.; VICENTE, A. A.; CUNHA, M. G. C. Xyloglucan from Hymenaea courbaril var. courbaril seeds as encapsulating agent of l-ascorbic acid. **International Journal Of Biological Macromolecules**, (S.L.), v. 107, p. 1559-1566, fev. 2018. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.10.016.
14. LUTZ, Instituto Adolfo. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: ANVISA, 2008.
15. SILVA, J. C.; LIRA, A. M. M.; SÁ, D. M. A. T.; SILVA, R. V.; FARIAS, M. D. P. AVALIAÇÃO COLORIMÉTRICA DE ALIMENTOS: construção de um protótipo com tecnologia de impressão 3d. **Recima21 - Revista Científica Multidisciplinar - Issn 2675-6218**, (S.L.), v. 4, n. 5, p. 1-16, 7 maio 2023. Editora RECIMA21 LTDA. http://dx.doi.org/10.47820/recima21.v4i5.3147.
16. LEÓN, K.; MERY, D.; PEDRESCHI, F.; LEÓN, J. Color measurement in L∗a∗b∗ units from RGB digital images. **Food Research International**, (S.L.), v. 39, n. 10, p. 1084-1091, dez. 2006. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2006.03.006.
17. CHIRIFE, J.; BUERA, M. P.; LABUZA, T. P. Water activity, water glass dynamics, and the control of microbiological growth in foods. **Critical Reviews In Food Science And Nutrition**, (S.L.), v. 36, n. 5, p. 465-513, maio 1996. Informa UK Limited. http://dx.doi.org/10.1080/10408399609527736.
18. MARQUES, C. O.; SOUSA, S. M. L. APLICAÇÃO DE BIOPOLIMEROS COMO REVESTIMENTO COMESTÍVEL NA CONSERVAÇÃO DO PESCADO: uma revisão da literatura. **Revista Foco**, (S.L.), v. 18, n. 6, p. 1-27, 30 jun. 2025. Brazilian Journals. http://dx.doi.org/10.54751/revistafoco.v18n6-232.
19. ALEXANDRE, A. C. S. *et al*. QUALIDADE DE PEIXES: uma breve revisão. **Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Volume 4**, (S.L.), p. 144-173, 2021. Editora Científica Digital. http://dx.doi.org/10.37885/210203356.
20. MOURA, G. F.; SOUZA, C. O. S. S.; ALMEIDA FILHO, E. S. Salga em pescado: revisão / salting in fish. **Brazilian Journal Of Development**, (S.L.), v. 7, n. 12, p. 121831-121849, 3 jan. 2022. South Florida Publishing LLC. http://dx.doi.org/10.34117/bjdv7n12-784.

21. BARTOLOMEU, D. A. F. S. **DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DA ACEITAÇÃO DE EMBUTIDO DEFUMADO "TIPO MORTADELA" ELABORADO COM CMS DE TILÁPIA DO NILO (Oreochromis niloticus) E FIBRA DE TRIGO**. 2011. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia de Alimentos, Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.
22. KLOCK, Umberto *et al.* **Química da madeira**. Curitiba: FUPEF, 2005.
23. FRANZINI, B. D.; SAMPAIO, S. A.; BARROS, H. S. S.; SANTANA, F. X. C.; PAULO, L. M.; GOUVEIA, A. B. V. S.; SANTOS, F. R.; MINAFRA, C. S. BETA-GLUCANASES E XILANASES NA NUTRIÇÃO DE NÃO RUMINANTES. **Veterinária e Zootecnia**, (S.L.), v. 29, p. 1-13, 2 ago. 2022. Revista Veterinária e Zootecnia. http://dx.doi.org/10.35172/rvz.2022.v29.771.
24. GAMA, T. M. M. T. B.; MASSON, M. L.; HARACEMIV, S. M. C.; ZANETTE, F.; CÓRDOVA, K. R. V.. A INFLUÊNCIA DE TRATAMENTOS TÉRMICOS NO TEOR DE AMIDO, COLORIMETRIA E MICROSCOPIA DE PINHÃO NATIVO (Araucaria angustifólia) E PINHÃO PROVENIENTE DE POLINIZAÇÃO CONTROLADA. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, (S.L.), v. 4, n. 2, p. 161-178, 17 dez. 2010. Universidade Tecnologica Federal do Parana (UTFPR). http://dx.doi.org/10.3895/s1981-36862010000200005.
25. SOUZA, M. L. R.; OLIVEIRA, G. G.; TESTI, I. A.; CORADINI, M. F.; CESARO, E.; TAKAYAMA, D. M. T.; FEIHRMANN, A. C.; GOES, E. S. R.; CASETTA, J.; MARENGONI, N. G. Mortadela de carne mecanicamente separada de aparas da filetagem de tilápia do Nilo / Mortadella of mechanically separated meat from filleting Nile tilápia trimmings. **Brazilian Journal Of Development**, (S.L.), v. 8, n. 3, p. 15925-15945, 4 mar. 2022. South Florida Publishing LLC. http://dx.doi.org/10.34117/bjdv8n3-028.
26. BARCELOS, S. C. **DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE QUEIJO TIPO Petit-Suisse CAPRINO POTENCIALMENTE PROBIÓTICO COM POLPA DE ACEROLA (Malpighia emarginata DC).** 2017. 172 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia de Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Limoeiro do Norte, 2017.

MÉTODOS INOVADORES PARA ESTABILIZAÇÃO DE PIGMENTOS NATURAIS: REVISÃO DE LITERATURA

INNOVATIVE METHODS FOR STABILIZATION OF NATURAL PIGMENTS: LITERATURE REVIEW

DOI: 10.65747/conali2025v3c29

Brenda Hilary Avelino de Vasconcelos[1]; Bruno José dos Santos[2]; Gabriela Tays da Silva Gonçalves[3]; Laura Lima Machado[4]; José do Egito de Paiva[5]; Erilane de Castro Lima Machado[6]

[1]Estudante do Curso de mestrado na Pós-Graduação em Nutrição - PPGN - CCS – UFPE; [2]Estudante do Curso de Nutrição - CAV - UFPE; [3]Estudante do Curso de Nutrição - CAV - UFPE; [4]Estudante do Curso de Medicina Veterinária– UNINASSAU; [5]Docente/pesquisador do Depto. de Tecnologia Rural – UFRPE; [6] Docente/pesquisador do Núcleo de Nutrição – UFPE.
Contato: brenda.vasconcelos@ufpe.br

Resumo: A cor é a principal característica sensorial que leva à aceitação do alimento pelo consumidor. Alterações relacionadas à estabilidade dos pigmentos repercutem no sabor, segurança e valor nutricional. Para melhorar as propriedades de cor, a indústria alimentícia emprega corantes sintéticos e naturais. Embora os sintéticos se destaquem pela estabilidade e baixo custo, apresentam impactos adversos à saúde. A substituição por pigmentos naturais, contudo, ainda representa desafio técnico devido à instabilidade frente a fatores intrínsecos e extrínsecos. O objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão narrativa sobre a estabilidade de corantes naturais com viabilidade de uso na indústria de alimentos e o impacto de metodologias inovadoras para sua preservação, com ênfase em pigmentos da flora brasileira, preferencialmente do Nordeste. Foram consultadas as bases PubMed, Scielo e a plataforma CAFE da CAPES, utilizando diferentes descritores, sem restrição de idioma. Consideraram-se artigos publicados entre 2005 e 2025, além de dois anteriores (2002 e 2004), sendo encontrados 59 artigos para triagem e seleção. Identificaram-se estudos sobre vegetais e pigmentos com potencial de uso como corantes, especialmente antocianinas, carotenóides, betalaínas e clorofilas. Contudo, trabalhos específicos com plantas do Nordeste ainda são escassos. Os principais fatores que afetam a estabilidade são exposição à luz, pH, oxigênio e interação com componentes da matriz alimentar. Entre os métodos de preservação destacam-se antioxidantes, liofilização, microencapsulação e nanotecnologia. Esta pesquisa reúne informações relevantes sobre pigmentos naturais e evidencia avanços no desenvolvimento de aditivos com dupla função, atuando como corantes e conservantes, além de potenciais efeitos sinérgicos.
Palavras–chave: antioxidantes naturais; corantes alimentícios; copigmentação; microencapsulação; nanotecnologia

Abstract: Color is the main sensory attribute that drives consumer acceptance of foods. Changes related to pigment stability affect flavor, safety, and nutritional value. To improve color properties, the food industry employs both synthetic and natural colorants. Although synthetic colorants stand out for their stability and low cost, they present long-term adverse health effects. The replacement of synthetic colorants with natural pigments, however, remains a technical challenge due to their intrinsic instability under environmental conditions. The aim of this study was to conduct a narrative review on the chemical stability of natural colorants with potential application in the food industry and on the impact of innovative methodologies for their preservation, with emphasis on pigments derived from Brazilian flora, particularly from the Northeast region. Articles were retrieved from PubMed, Scielo, and the CAPES CAFE platform using different descriptors, with no language restrictions. Publications between 2005 and 2025 were considered, in addition to two earlier studies (2002 and 2004), yielding 59 articles for screening and selection. Studies identified plant species and pigments with potential for use as food colorants, especially anthocyanins, carotenoids, betalains, and chlorophylls. However, specific research on plants from the Northeast remains scarce. The main

factors affecting pigment stability include exposure to light, pH, oxygen, and interactions with food matrix components. Preservation methods highlighted in the literature include antioxidants, freeze-drying, microencapsulation, and nanotechnology. This review provides relevant insights into natural pigments and highlights advances in the development of natural additives with dual functions, acting as both colorants and preservatives, in addition to potential synergistic effects.
Keywords: natural antioxidants; food coloring; copigmentation; microencapsulation; nanotechnology

INTRODUÇÃO

O Nordeste brasileiro é uma região rica em biodiversidade vegetal, oferecendo diversas fontes de pigmentos naturais como clorofila, antocianinas, carotenóides e betalaínas. Tais compostos podem ser explorados como corantes alimentares naturais, alinhando-se à demanda por alimentos "*clean-label*" e saudáveis (1). Apesar desse potencial, a aplicação de corantes naturais ainda representa um desafio técnico, sobretudo pela instabilidade intrínseca desses compostos frente a variações de pH, calor e oxidação. No entanto, os benefícios funcionais associados a esses pigmentos, como propriedades anti-inflamatórias, imunomoduladoras e antioxidantes, justificam os avanços tecnológicos voltados à sua proteção e estabilização (2,3).

Entre os fatores que comprometem a qualidade e aceitação dos produtos, a oxidação e a degradação da cor são, sem dúvida, os mais desafiadores. Esses processos além de comprometerem o aspecto visual, um dos primeiros atributos percebidos pelo consumidor, também impactam negativamente o sabor, o aroma e o perfil nutricional (1). Assim, os antioxidantes naturais vêm ganhando relevância, por representarem uma alternativa alinhada às expectativas dos consumidores por alimentos mais naturais, livres de aditivos sintéticos e com benefícios adicionais à saúde.

Derivados de fontes vegetais como frutas, verduras, ervas e especiarias, possuem a capacidade de atuar como barreiras bioquímicas frente aos processos oxidativos, garantindo a preservação não apenas da cor, mas também da integridade dos alimentos (4). Nesse contexto, a estabilização de pigmentos naturais propõe diferentes benefícios para o alimento, consumidor e indústria, entre os quais a manutenção da cor vibrante e propriedades dos corantes mesmo após o processamento e armazenamento. Métodos inovadores como microencapsulação, nanotecnologia e o uso de antioxidantes oferecem soluções promissoras para proteger esses pigmentos contra fatores intrínsecos (inerentes ao alimento), e extrínsecos (ambientais), que podem degradá-los.

Apesar dos avanços tecnológicos, ainda há escassez de estudos sobre pigmentos de plantas nativas do Nordeste brasileiro e tecnologias adequadas para sua estabilização em escala industrial. Assim, esta revisão tem o objetivo de reunir evidências sobre a estabilização de pigmentos naturais da região Nordeste e demonstrar direcionamento da sua aplicação como corantes na indústria de alimentos.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado mediante desenvolvimento de uma revisão narrativa, com o objetivo de analisar métodos inovadores para a estabilização de pigmentos naturais com viabilidade de aplicação pela indústria de alimentos.

A busca de artigos científicos foi realizada entre os meses de julho à setembro de 2025, a partir do rastreio nas plataformas de busca: CAFE da CAPES e base de dados da PubMed e Scielo, usando-se os descritores “plantas regionais do nordeste”, “pigmentos naturais”, “corantes naturais em alimentos”, ‘estabilidade”, “estabilização”, “métodos inovadores”, “encapsulação”, “antioxidantes naturais” e “nanotecnologia”, sem restrição quanto ao idioma, e publicados no período entre 2005 e 2025, com exceção de dois artigos científicos, um do ano 2002 e outro de 2004, por suas relevâncias no tema em estudo.

Além de artigos originais, foram incluídos artigos de revisão recentes e materiais de referência atualizados, assim de fortalecer a base teórica-conceitual da temática. Após a identificação e seleção do material bibliográfico mediante leitura do resumo, realizou-se uma triagem de forma a priorizar a leitura completa daqueles que apresentavam relevância científica, inovação metodológica, aplicabilidade no setor alimentício e exploração de plantas da região nordeste do Brasil como fonte de pigmentos naturais. Por fim foram incluídos 52 artigos científicos.

Os artigos usados para o estudo abordam diferentes estratégias para estabilização de pigmentos naturais, de forma que foi possível destacar alguns subtemas para desenvolvimento de uma narrativa no tema de interesse:

- Pigmentos naturais e sintéticos em alimentos processados: Vantagens e limitações de uso;
- Pigmentos naturais de plantas da flora brasileira e estabilidade para uso como corantes naturais em alimentos
- Antioxidantes naturais no controle da oxidação e da estabilidade de pigmentos naturais em alimentos;
- Microencapsulação de pigmentos naturais: Proteção às condições adversas *in vitro* e na matriz alimentar
- Nanotecnologia aplicada à preservação de pigmentos: Aspectos da estabilidade

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os 52 artigos incluídos nessa revisão forneceram o embasamento necessário para nortear a discussão e apresentação dos resultados.

O material selecionado foi utilizado para ressaltar a importância dos pigmentos naturais, apresentar as soluções mais promissoras e tecnicamente viáveis para sua preservação. O foco central é a aplicação desses compostos pela indústria de alimentos de maneira sustentável e funcional. Os resultados foram estruturados em tópicos afim de favorecer a compreensão do leitor sobre o tema desta pesquisa.

A) PIGMENTOS NATURAIS E SINTÉTICOS EM ALIMENTOS PROCESSADOS: VANTAGENS E LIMITAÇÕES DE USO

A utilização de corantes em alimentos tem como principal finalidade intensificar ou restaurar a coloração natural dos produtos, influenciando diretamente na aceitabilidade sensorial pelos consumidores (5). Tradicionalmente, os corantes sintéticos têm sido amplamente utilizados pela indústria alimentícia devido à sua elevada estabilidade físico-química, baixo custo de produção e facilidade de aplicação em diferentes matrizes alimentares. Entretanto, diversas evidências científicas vêm associando o consumo frequente de corantes artificiais a potenciais efeitos adversos à saúde, como reações alérgicas, distúrbios comportamentais e desequilíbrios metabólicos, o que tem incentivado a busca por substitutos naturais mais seguros (3).

Nesse contexto, os pigmentos naturais vêm ganhando destaque na indústria de alimentos como alternativa aos corantes sintéticos, baseado na percepção de maior segurança e qualidade (5). Esses pigmentos são extraídos de fontes vegetais, fúngicas ou microbianas, como frutas, raízes, flores, folhas, microalgas e bactérias. As principais classes de pigmentos incluem antocianinas, betalaínas, carotenóides, clorofilas e curcuminoides, que além de promoverem coloração ao alimento, possuem como vantagem o pronunciado potencial biológico decorrente das propriedades bioativas, como atividade antioxidante, anti-inflamatória, imunomoduladora e potencial antiproliferativo (3,6).

A multifuncionalidade associada a esses compostos, somado ao apelo de saudabilidade, conferem vantagens importantes dos pigmentos naturais em comparação aos sintéticos (7). No entanto, a aplicabilidade em matriz alimentar enfrenta limitações, principalmente devido a estabilidade, que pode ser comprometida por fatores ambientais como luz, oxigênio, variações de pH e temperaturas elevadas. Essas condições podem provocar degradação, alteração de cor ou perda da atividade funcional (8). Tais características impõem desafios para a formulação de alimentos industrializados com vida útil prolongada, exigindo o desenvolvimento de estratégias tecnológicas para a proteção e estabilização desses pigmentos durante o processamento e armazenamento (5).

Na indústria de ingredientes, tecnologias como a secagem por aspersão (*spray drying*) têm sido utilizadas com sucesso para estabilizar pigmentos naturais, como a astaxantina extraída da microalga *Haematococcus pluvialis*. Mesmo após o processamento térmico, os extratos

demonstraram atividade antioxidante significativa, o que evidencia o potencial desses pigmentos em formulações funcionais, mesmo sob condições adversas (6).

A substituição completa de corantes sintéticos por pigmentos naturais ainda encontra barreiras industriais relacionadas à padronização de cor, custo, estabilidade e compatibilidade com os processos tecnológicos existentes. Apesar disso, a crescente demanda por alimentos mais naturais e com menor adição de aditivos artificiais tem impulsionado a indústria a investir em pesquisas voltadas ao aprimoramento da estabilidade, viabilidade econômica e segurança dos pigmentos naturais (3,8).

Além das vantagens e desvantagens de corantes naturais e artificiais, abordou-se em em uma revisão bibliográfica abrangente os tipos de corantes mais empregados pelas indústrias alimentícias, de forma que as antocianinas, o urucum, o carmin de cochonilha, a curcumina e as betalaínas mereceram destaque em razão da substituição gradual dos corantes artificiais pelos naturais devido ao amplo espectro de cores, alto poder tintorial, estabilidade frente a processos industriais, aceitação consolidade e maior disponibilidade comercial (9).

Aditivos naturais para uso na conservação do alimento possuem limitações por questões de estabilidade, sustentabilidade e custo-benefício, o que justifica a necessidade de soluções inovadoras. Nesse contexto, o desenvolvimento de novos aditivos naturais, seguros e eficientes podem ser alcançados através da aplicação de compostos com dupla funcionalidade (atividade de pigmento e propriedade conservante), ou através do uso combinado de substâncias visando o efeito sinérgico (10).

B) PIGMENTOS NATURAIS DE PLANTAS DA FLORA BRASILEIRA E ESTABILIDADE PARA USO COMO CORANTES NATURAIS EM ALIMENTOS

Pigmentos como antocianinas, carotenóides, betalaínas e clorofilas, amplamente presentes em espécies como açaí, beterraba, açafrão-da-terra (*Curcuma longa*) e microalgas, têm demonstrado não apenas capacidade de conferir coloração aos alimentos, mas também propriedades funcionais relevantes, como atividade antioxidante e estabilidade oxidativa em diferentes matrizes (3,11). De maneira geral, a aplicação industrial dos pigmentos naturais tem ampla limitação. Assim, a indústria tem investido em estratégias para aumentar a estabilidade desses compostos frente ao processamento, armazenamento e exposição à luz (11).

Entre os achados do Nordeste brasileiro, destaca-se o umbu (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.), fruto típico do semiárido nordestino, com pigmentos naturais que conferem coloração característica a doces e polpas (18). Em estudos com doce em massa de umbu, verificou-se que a intensidade de cor é influenciada por variações na temperatura (33 e 43°C) e tipo de embalagem (polipropileno e celofane) por 90 dias de armazenamento; de forma que para assegurar coloração mais estável ao produto final é necessário controlar esses fatores. Os autores relataram que embalagens de

polipropileno e estocagem à temperaturas mais baixas foram as condições mais adequadas para preservação da cor (18).

Diversos estudos demonstram estratégias de controle para conservação da cor e propriedades bioativas. O controle de condições de armazenamento sob temperaturas moderadas (~25 °C), embalagens de baixa permeabilidade à luz e oxigênio, e em meio a pH adequado são fatores que favorecem a conservação da cor (13). Dentre os principais fatores determinantes para estabilização, destacam-se:

1) pH: É um dos fatores determinantes para estabilização, de forma que antocianinas são mais estáveis em meios ácidos (~pH 1–3,5), mantendo tonalidade vermelha/flavylium (27); enquanto betalaínas mostram estabilidade melhor em pH neutro (28); e os carotenóides como bixina são menos sensíveis a variações de pH, mas muito sensíveis à oxidação (14).
2) Temperatura e luz: Altas temperaturas e exposição à luz aceleram a degradação de antocianinas e betalaínas, no entanto no caso da *Clitoria ternatea*, a luz provocou perda parcial, mas a estrutura acilada das moléculas proporcionou maior resistência (25); assim como para os carotenóides, embora o urucum seja relativamente estável o aquecimento pode converter a bixina em formas mais estáveis, desde que haja proteção contra oxidação (14,15). Em um estudo com a microalga *Chlorella vulgaris*, rica em clorofila, observou-se que a estabilidade do pigmento isolado foi altamente dependente das condições ambientais, especialmente temperatura e exposição à luz. A manutenção da cor verde foi mais efetiva quando o pigmento foi armazenado em temperaturas abaixo de 28 °C e em condições de ausência de luz. Essas informações são fundamentais para viabilizar o uso de pigmentos clorofílicos em alimentos prontos para consumo, como arroz preparado para sushi, onde a cor permaneceu estável por até três dias sob refrigeração (8).
3) Oxigênio e atividade de água: A presença de O_2 e alta umidade aceleram a oxidação dos pigmentos, especialmente carotenóides e antocianinas (29).
4) Matriz alimentar: Interações com proteínas e açúcares podem afetar a estabilidade da cor sobretudo em derivados lácteos durante o aquecimento e adicionados de antocianinas e betalaínas (11,21).

Carotenoides: A cor de um alimento carotenogênico depende do tipo de carotenóide presente, sua concentração e seu estado físico. Alimentos podem ser amarelos, como o milho (luteína e zeaxantina), laranja, como frutas cítricas (β-criptoxantina), ou vermelhos, como o tomate (licopeno) (16). O Brasil possui uma variedade notável de alimentos ricos nesses compostos, incluindo β-caroteno, α-caroteno, β-criptoxantina, luteína, licopeno e violaxantina, sendo os três primeiros precursores de vitamina A. Entre os alimentos mais ricos em β-caroteno destacam-se buriti, tucumã, acerola e manga, enquanto a β-criptoxantina predomina em frutas de polpa laranja, como cajá, mamão, laranja e pêssego. A luteína é abundante em verduras folhosas e outros vegetais verdes, e o licopeno encontra-se principalmente no tomate, melancia, goiaba vermelha, mamão vermelho e pitanga (16).

Entre os carotenoides de destaque, o urucum (*Bixa orellana L.*) é amplamente usado no Brasil como fonte de bixina, um carotenoide lipossolúvel intensamente vermelho-alaranjado, e comparavelmente mais estável que outras fontes vegetais quando protegido da oxidação, luz e calor (13). Ainda, pode se converter em formas mais estáveis (trans-bixina) durante o aquecimento; enquanto a norbixina, hidrossolúvel, representa cerca de 80 % do consumo e é a mais usada na indústria láctea, com maior estabilidade quando protegida de oxidação e luz (14,15).

Outro carotenoide relevante é a astaxantina, obtida da microalga *Haematococcus pluvialis*, destaca-se pela elevada atividade antioxidante. Sua estabilidade pode ser mantida mesmo após o processamento por secagem por *spray drying*, desde que respeitadas as condições ideais de temperatura e concentração de adjuvantes de tecnologia. Contudo, reduções no teor de carotenoides têm sido associada ao uso de temperaturas elevadas durante a secagem, o que ressalta a necessidade de padronização desses processos para garantir as propriedades bioativas do pigmento (6).

A oxidação, principal causa de degradação dos carotenóides, depende da disponibilidade de oxigênio, do tipo de carotenóide e do seu estado físico, sendo estimulada por luz, calor, metais, enzimas oxidativas e peróxidos, e inibida por antioxidantes. A luz, em especial, acelera a degradação em sistemas-modelo de baixa umidade (amido de milho, fécula de batata e celulose cristalina), em sistemas aquosos e em alimentos liofilizados. As taxas de degradação e os fatores que as influenciam são considerados pela indústria alimentícia para preservar a cor e as atividades biológicas dos carotenóides durante processamento e armazenamento, evitando perda de aceitabilidade e valor nutricional (17).

Antocianinas: Em virtude de efeitos adversos para a saúde de corantes sintéticos como o E129 (*Allura Red*), um corante vermelho, solúvel em água, usado em alimentos para conferir uma cor vermelha intensa e estável; produtores de alimentos buscam usar antocianinas como substitutos (22). As antocianinas são o grupo de pigmentos hidrossolúveis mais abrangentes nas plantas, apresentam um elevado potencial como corantes naturais devido à fácil incorporação em meios aquosos. São responsáveis pelas cores laranja, magenta, azul, violeta e vermelha em diversas partes das plantas — especialmente em frutas e flores; e têm atraído a atenção como corantes naturais para uso em iogurtes, sucos, geleias e produtos de panificação. No entanto a aplicabilidade prática das antocianinas é limitada devido à sua baixa estabilidade sob a influência de vários fatores: pH, temperatura de armazenamento, presença de enzimas, estrutura química, luz, oxigênio, solventes e presença de outros compostos (19–21).

O mirtilo (*Vaccinium* sp.) é considerado uma das frutas mais ricas em compostos fenólicos, sobretudo antocianinas, que conferem sua cor característica e estão diretamente associadas à elevada capacidade antioxidante do fruto. Esses pigmentos, localizados principalmente na casca, apresentam potencial não apenas como corantes naturais, em substituição aos sintéticos que vêm

sendo cada vez mais restringidos devido a riscos toxicológicos, mas também como compostos bioativos capazes de reduzir os efeitos do estresse oxidativo no organismo humano (20). Nesse sentido, torna-se essencial o avanço em pesquisas voltadas à extração e estabilização das antocianinas, reduzindo perdas durante o processamento e aumentando a viabilidade de uso desses pigmentos pela indústria alimentícia. Assim, o mirtilo destaca-se não apenas pelo apelo sensorial e nutricional, mas também como um aliado estratégico no desenvolvimento de alimentos funcionais e na valorização da cadeia produtiva de frutas no Brasil (23).

Estudando as antocianinas do açaí, fruto tropical típico do Brasil, os autores relatam que apresentam alta sensibilidade a fatores ambientais, sofrendo degradação principalmente em condições de pH elevado, temperaturas elevadas, exposição à luz e presença de oxigênio. Observaram que a estabilidade dessas moléculas é maior em meios ácidos e em condições controladas de armazenamento, o que reforça a necessidade de tecnologias que minimizem perdas durante o processamento industrial. Além disso, o açaí se destaca como uma das fontes mais ricas em antocianinas, oferecendo grande potencial como corante natural e como composto funcional de interesse para a saúde, reforçando a relevância do desenvolvimento de estratégias que garantam maior conservação da cor e da bioatividade das antocianinas em produtos derivados do fruto (21).

Em achados recentes, divulgam-se pigmentos de plantas da mata atlântica costeira como grumixama (*Eugenia brasiliensis* Lam.), riquíssimas em antocianinas como cianidina 3-glucosídeo e delfinidina 3-glicosídeo, com potencial como corantes funcionais naturais (24). Em produtos ácidos, como iogurtes ou bebidas à base de frutas nordestinas, antocianinas de grumixama ou outras frutíferas tropicais regionais podem ser aplicadas com boa estabilidade em pH ácido (13). Entre outros estudos, destaca-se que a *Clitoria ternatea* (índigo-azul) apresentou boa estabilidade de antocianinas, inclusive sob exposição à luz (~25 °C) por cinco semanas, com meia-vida elevada em pH ≈ 5, possibilitando tons azulados estáveis (25). Em frutas vermelhas, repolho roxo e beterraba, observou-se que a estabilidade de antocianinas é favorecida por pH ácido (1,0–3,5). Estratégias como microencapsulamento com maltodextrina por *spray-drying* aumentam a proteção e a estabilidade durante o processamento (11).

Um estudo avaliou extratos de frutas ricas em antocianinas (Casca de berinjela (*Solanum melongena*), Casca de Ameixa fresca (*Prunus salicina*), Jamelão (*Syzygium cumini*), Morango (*Fragaria vesca)*, Casca de Uva roxa (*Vitis vinifera*) e Repolho roxo (*Brassica oleracea rubra*) cujas colorações ficavam entre roxo e vermelho para uso como corante para elaboração de bala de gelatina. Os autores verificaram que a bala de gelatina saborizada com frutas como o jamelão e a uva precisa ser mais exploradas cientificamente quanto ao seu uso como corante, pois foram as espécies que conferiram os melhores resultados (26).

Entre os fatores adversos, as antocianinas são mais suscetíveis a degradação pelo calor, sobre o que um recente estudo revelou que as altas temperaturas, 60 Cº por 2 semanas, e os longos

períodos de armazenamento, 150 dias, afetam o teor de antocianinas nos extratos brutos e que ocorre uma degradação muito rápida sob temperatura elevada. Enquanto que durante o armazenamento à temperatura ambiente e protegidos da luz, as antocianinas apresentaram melhor estabilidade, sofrendo degradação mais rápida quando os extratos dos frutos (mirtilo - *Vaccinium myrtillus* L., amoras - *Morus nigra* L., *Rubus fruticosus* L.) foram tratados com 1% de ácido ascórbico (20).

C) ANTIOXIDANTES NATURAIS NO CONTROLE DA OXIDAÇÃO E DA ESTABILIDADE DE PIGMENTOS NATURAIS EM ALIMENTOS

Neste tópico se discorre sobre os principais tipos de antioxidantes naturais, seus mecanismos de ação, aplicações práticas, desafios e perspectivas futuras na indústria de alimentos. O universo dos antioxidantes naturais é amplo e diversificado, refletindo a rica variedade de compostos bioativos produzidos pelas plantas, e são classificados não apenas por sua origem, mas também por suas propriedades químicas e funções biológicas.

Os antioxidantes naturais têm sido amplamente investigados pela indústria de alimentos, não apenas pela capacidade de retardar a oxidação lipídica, mas principalmente pelo papel protetor na preservação da cor e da estabilidade de pigmentos. A degradação desses compostos está diretamente relacionada à perda de tonalidade e ao comprometimento da qualidade sensorial, sendo a ação antioxidante um recurso tecnológico essencial para prolongar a vida útil e manter a atratividade dos alimentos (28).

Entre os principais antioxidantes usados pela indústria de alimentos, destacam-se neste estudo os seguintes:

1) Tocoferóis: Pertencem à família da vitamina E, são antioxidantes lipossolúveis amplamente distribuídos na natureza, particularmente em nozes, sementes, óleos vegetais e folhas verdes. Sua principal função nos alimentos é proteger os lipídios da oxidação, evitando, por exemplo, o desenvolvimento de rancidez em produtos ricos em gorduras. Entre as diferentes formas de tocoferol, o alfa-tocoferol é a mais prevalente e biologicamente ativa na dieta humana, contribuindo não apenas para a estabilidade dos alimentos, mas também para a saúde cardiovascular e o fortalecimento do sistema imunológico (31,32). Ressalta-se que os tocoferóis são relevantes na proteção de carotenoides, como bixina e licopeno, retardando a oxidação em matrizes lipídicas e mantendo a cor característica de óleos e produtos gordurosos (33).

2) Ácido ascórbico: É um antioxidante hidrossolúvel de destacada importância tanto nutricional quanto tecnológica. Além de ser abundante em frutas cítricas, ele é comumente adicionado a diversos produtos alimentícios para prevenir a descoloração, sobretudo em frutas e vegetais frescos. Sua ação como agente redutor o torna especialmente eficaz em neutralizar espécies

reativas de oxigênio e na prevenção da oxidação de pigmentos naturais sensíveis, como as antocianinas (34,35). Salienta-se que o ácido ascórbico (vitamina C) é um dos antioxidantes naturais mais utilizados para prevenir a descoloração em frutas e vegetais, atuando de forma eficaz na proteção de antocianinas e betalaínas. Em bebidas à base de frutas, sua aplicação demonstrou reduzir significativamente a perda de tonalidade durante o armazenamento (36).

3) Carotenóides: Formam um grupo de pigmentos naturais responsáveis pelas cores vibrantes que vão do amarelo ao vermelho em vegetais como cenouras, tomates e pimentões. Além do efeito estético, possuem potente atividade antioxidante, agindo na proteção contra o dano oxidativo tanto em sistemas alimentares quanto no organismo humano. Compostos como o beta-caroteno, licopeno e luteína não só preservam a aparência dos alimentos, mas também estão associados à prevenção de doenças crônicas, como certos tipos de câncer e degeneração macular relacionada à idade (37).

4) Polifenóis: Representam um vasto grupo de compostos fenólicos encontrados em frutas, verduras, chás, vinhos e especiarias. Sua capacidade antioxidante é atribuída à habilidade de doar hidrogênios ou elétrons para neutralizar radicais livres. Além do efeito protetor sobre os alimentos, diversos estudos associam os polifenóis a efeitos cardioprotetores, anticarcinogênicos e neuroprotetores, embora sua biodisponibilidade possa variar consideravelmente após a digestão (38). Ainda, os polifenóis presentes em extratos vegetais como alecrim, chá-verde e uva exercem efeito protetor sobre pigmentos em alimentos processados, mantendo a intensidade da cor em carnes e produtos defumados (39). Além disso, os próprios carotenoides com atividade antioxidante (como β-caroteno e luteína) contribuem não apenas como pigmentos, mas também como protetores de outros corantes contra a degradação oxidativa (40).

Dito os principais compostos utilizados na indústria, é essencial compreender os mecanismos de ação pelos quais os antioxidantes exercem sua função protetora. Entre os principais caminhos, atuam impedindo ou retardando a formação e propagação de radicais livres. Um dos mecanismos mais conhecidos é a neutralização direta de radicais livres, interrompendo o ciclo oxidativo antes que ele comprometa os constituintes essenciais dos alimentos, como lipídios, proteínas e pigmentos (41,42). Além disso, nutrientes antioxidantes, como as vitaminas A, C e E, juntamente com minerais como cobre, zinco e selênio, desempenham papel complementar ao reforçar as defesas antioxidantes naturais do organismo e dos alimentos (38).

Outro mecanismo relevante é a inibição de enzimas pró-oxidantes, como as polifenoloxidases, cuja atividade está diretamente associada ao escurecimento enzimático em frutas e vegetais. Compostos como o ácido ascórbico e o ácido cítrico são capazes de modular essa atividade, prevenindo alterações de cor indesejadas resultantes não apenas de escurecimento enzimático, mas também do não enzimático (10,43). Segundo Fan, Zhao e Li (2023) (43) o ácido cítrico e o ácido L-ascórbico são adequados para a proteção da cor da farinha de abóbora sujeita a uma severa reação de Maillard e oxidação de carotenoides durante o processamento de extrusão

a alta temperatura, o que afeta seriamente o aspecto do produto.

Ainda, atuam como quelantes de metais pró-oxidantes, como ferro e cobre, que podem catalisar reações oxidativas. Efeitos sinérgicos também são observados quando diferentes extratos vegetais são combinados, potencializando a ação antioxidante e oferecendo uma proteção mais robusta aos alimentos, a exemplo da associação entre ácido ascórbico e polifenóis (30,39,44).

A aplicação de antioxidantes naturais no setor de alimentos é ampla e estratégica, especialmente em produtos suscetíveis à oxidação, como carnes, óleos, laticínios e produtos de panificação. Desta forma, antioxidantes naturais são empregados para preservar a estabilidade cromática em diferentes matrizes alimentares. Em sucos e bebidas pigmentadas por antocianinas, o ácido ascórbico auxilia na redução da perda de intensidade visual (45). Em produtos cárneos, extratos vegetais ricos em polifenóis protegem a coloração característica frente à oxidação lipídica, preservando tanto o sabor quanto a coloração característica (44). Em óleos e margarinas enriquecidas com carotenóides, os tocoferóis evitam o clareamento (46). Já em derivados lácteos com adição de pigmentos naturais, ajustes de pH e adição de antioxidantes favorecem maior retenção da cor (30).

O desafio atual está em alinhar a eficácia antioxidante à manutenção da cor em matrizes alimentares diversas, considerando que cada pigmento apresenta sensibilidade distinta a fatores ambientais. Perspectivas recentes apontam para o desenvolvimento de combinações antioxidantes específicas para determinados grupos de pigmentos, bem como para a integração dessas substâncias a sistemas de microencapsulação e nanotecnologia, ampliando sua eficácia e prolongando a estabilidade visual (47,48). Assim, o uso de antioxidantes naturais configura-se como estratégia central para a preservação da cor e do apelo visual dos alimentos, agregando valor sensorial e comercial aos produtos pigmentados (30).

D) MICROENCAPSULAÇÃO DE PIGMENTOS NATURAIS: PROTEÇÃO ÀS CONDIÇÕES ADVERSAS EM ESTUDOS *IN VITRO* E NA MATRIX ALIMENTAR

Diante desse desafio, a microencapsulação surge como uma estratégia tecnológica eficaz para proteger esses compostos durante o processamento, armazenamento e comercialização (49). A microencapsulação consiste em envolver o pigmento com materiais encapsulantes, formando pequenas cápsulas que atuam como barreira protetora com o objetivo de isolar o ativo das condições adversas. Entre os materiais mais utilizados encontram-se a maltodextrina, goma-arábica, alginato de sódio, beta-ciclodextrina, e proteínas. A escolha do encapsulante influencia diretamente a eficiência da proteção e a estabilidade do pigmento encapsulado (50,51).

Diferentes processos podem ser empregados para microencapsulação, como o *spray drying*, lipossomas, técnicas de coacervação ou baseados em emulsões, constituindo-se em microcápsulas, microesferas ou micropartículas, dependendo da técnica utilizada. Essa tecnologia

é capaz de proporcionar estabilidade aos corantes naturais e adicionalmente proporcionar uma liberação controlada durante o armazenamento porque o aprisionamento dos pigmentos naturais em um núcleo protegido evita a degradação por fatores ambientais (52). Algumas vantagens que a microencapsulação de corantes naturais proporciona são: soluções com coloração mais intensa (estabilidade colorimétrica), aumento na solubilidade de compostos lipossolúveis, preservação de compostos antioxidantes e compostos bioativos, estabilidade térmica, e melhor estabilidade durante o armazenamento exposto à luz em relação ao extrato bruto (53,54).

Estudos envolvendo a bixina, pigmento extraído da fração lipossolúvel do urucum, a técnica de *spray drying* demonstrou ser eficaz para aumentar sua estabilidade. Os autores relatam que formulações onde se combinou goma-arábica e maltodextrina apresentaram desempenho superior, enquanto a beta-ciclodextrina também se destacou na manutenção da estabilidade, embora com custo mais elevado, de forma que os produtos microencapsulados mostraram-se mais estáveis que o pigmento sem microencapsulação (50). Empregando-se goma arábica, goma de cajueiro ou maltodextrina, verificou-se estabilidade deste pigmento frente à luz, umidade e exposição ao oxigênio (13).

Ainda, estes estudos demonstram que a microencapsulação aumenta significativamente a estabilidade do pigmento de urucum em comparação à forma livre, embora com diferenças na influência do método de secagem e o material de parede utilizado na proteção do pigmento. Constant et al. (2021) (50) evidenciaram que a mistura de goma-arábica e maltodextrina conferiu maior proteção ao pigmento, enquanto a beta-ciclodextrina formou complexos altamente estáveis frente à luz, ainda que limitados pela baixa solubilidade. Enquanto Mendes (2012) (55) destacou que a goma-arábica foi mais eficiente quando comparada a goma do cajueiro, e que o processo de liofilização preservou melhor a bixina em relação ao *spray drying*. Assim, enquanto o primeiro estudo aponta a superioridade de combinações de encapsulantes tradicionais e ciclodextrinas, o segundo amplia a discussão sobre a aplicação de biopolímeros alternativos na encapsulação de urucum.

Em relação às antocianinas de mirtilo, sistemas baseados em microcápsulas e lipossomas também se mostraram capazes de proteger o pigmento contra luz e altas temperaturas, mantendo a estabilidade estrutural com taxas de encapsulamento de até 96,14% em microcápsulas e 81,26% em lipossomas. Nesse contexto, o alginato de sódio se mostrou um dos encapsulantes mais eficientes, permitindo o controle de tamanho de partículas e propriedades de superfície, fatores que interferem diretamente na preservação do pigmento (51).

Visando contornar as limitações de aplicações das antocianinas, usou-se polietilenoglicol (PEG) e quitosana como materiais de parede e antocianina purificada de bagaço de amoreira (*Morus alba* L.) como materiais de núcleo para preparar um complexo de antocianina encapsulado em PEG e quitosana. O melhor processo, que foi otimizado com metodologia de superfície de resposta, usou uma razão de massa de 20:1 de PEG4000 para quitosana e uma razão de 1:3,8 de

materiais de núcleo para parede. Ao determinar regularmente o conteúdo total de antocianina dos complexos de antocianina encapsulados em diferentes temperaturas por um ano, verificam-se pequenas mudanças, de forma que na temperatura mais alta (35 °C), o conteúdo total de antocianina foi reduzido em apenas 3,11 ± 0,61% e sem diferença significativa. Assim, os autores informam que a estabilidade da antocianina foi significativamente aumentada após o encapsulamento (56).

Em processos através da emulsificação, avaliou-se a encapsulação de oleorresina derivado da cúrcuma (*Curcuma longa* L.) e responsável pela cor amarelo alaranjado do produto. Nesse sistema, em que se verificou os efeitos de duas posições do pigmento durante o encapsulamento, na fase oleosa interna e na camada externa das partículas sólidas, observou-se a influência desta posição no resultado de forma que os pigmentos posicionados na camada externa da partícula resultou em maior estabilidade da intensidade da cor, com maior resistência às condições do processamento do alimento (49).

A clorofila é um pigmento natural que confere a cor verde altamente desejável na indústria alimentícia (57). No entanto, as fontes naturais de clorofilas são instáveis na utilização como pigmento devido a sua rápida degradação, resultando na formação de derivados como feofitina, feoforbídeo, pirofeofitina e pirofeoforbídeo, o que leva a perda da cor verde, transformando-a em marrom-oliva (58). Nesse sentido, a microencapsulação é uma tecnologia promissora para mitigar esse problema na instabilidade. Contudo, a escolha do material de parede e a pré-estabilização da clorofila são cruciais para o sucesso da preservação da cor. Para aumentar a estabilidade da molécula de clorofila antes da encapsulação, o íon magnésio em seu anel de porfirina pode ser substituído por cátions divalentes, como zinco (Zn) ou cobre (Cu). Isso forma derivados de clorofila metálica (metal-chlorophyll complexes), que são mais estáveis ao ácido e ao calor e agem como antioxidantes mais eficazes (59).

A secagem por spray drying (atomização) é a técnica mais amplamente empregada para a microencapsulação de corantes naturais na indústria alimentícia, incluindo a clorofila. Porrarud e Pranee (2010) (59) investigaram a encapsulação de derivados de Zn-clorofila extraídos de folhas de *Pandanus amaryllifolius* por secagem por atomização, utilizando diferentes materiais de parede, como goma arábica, maltodextrina e amido modificado por OSA (octenil succinato). Os autores observaram que a formulação com 30% de amido modificado por OSA resultou nos maiores valores de esverdeamento (a* = -14,64), maior teor total de clorofila (187,34 mg/100 g), além de maior estabilidade de armazenamento, uma vez que o pó de Zn-clorofila encapsulado com OSA apresentou meia-vida de 462 dias, superando as formulações com goma arábica (330 dias) e maltodextrina (385 dias).

Colaborando com esses dados, Mahae, Pichairat e Chankaew (2025) (58) avaliaram a encapsulação de complexos metálicos de clorofila obtidos da alga *Chara corallina*, também pelo

método de spray drying, utilizando goma arábica e maltodextrina como agentes encapsulantes. Nesse caso, a maltodextrina apresentou melhor desempenho em relação à preservação da cor e do teor de pigmentos, resultando nos maiores valores de esverdeamento (a* = -14,05) e na maior concentração total de clorofila (20,78 µg/g).

Diante do exposto, a microencapsulação de pigmentos naturais se destaca como uma ferramenta tecnológica promissora para a indústria de alimentos, possibilitando a proteção desses compostos frente a fatores ambientais. A escolha adequada do material encapsulante e do método de produção é essencial para garantir eficiência do processo e ampliar as possibilidades de uso de pigmentos naturais em diferentes matrizes alimentares (49,50).

E) NANOTECNOLOGIA APLICADA À PRESERVAÇÃO DE PIGMENTOS: ASPECTOS DA ESTABILIDADE

A nanotecnologia oferece soluções promissoras para a conservação de pigmentos naturais, como os carotenoides, antocianinas, e clorofilas, por meio de sistemas de encapsulação. Esses nanosistemas, além de favorecerem a estabilidade dos compostos no meio de interesse, criam uma barreira protetora que reduz a degradação por fatores externos principalmente luz e oxidação, além da resistência térmica, e questões envolvendo interações com componentes da matriz alimentar mantendo a integridade dos pigmentos durante o processamento e biodisponibilidade (60–63).

A nanotecnologia pode ser uma técnica promissora para os carotenoides, associados a um problema de baixa estabilidade e solubilidade devido a hidrofobicidade frente aos diversos processos na indústria de alimentos, uma vez que esta técnica pode proporcionar a esses compostos estabilidade e solubilidade em meio aquoso. Técnicas de nanoencapsulamento para o β-caroteno e outros carotenóides se constituem em técnicas como: nanoencapsulamento por nanopartículas de lipídios, por fluídos supercríticos e por micelas de caseína por autojunção (62).

Quanto as antocianinas (ACNs), avaliou-se estes pigmentos através da encapsulação em nanocomplexos com cloridrato de quitosana (CHC), carboximetil quitosana (CMC) e isolado proteico de soro de leite (WPI). Os autores relatam que os nanocomplexos CHC/CMC-WPI carregados com ACN (ACN-CHC/CMC-WPI) apresentaram tamanho de partícula preferencial (332,20 nm) e potencial zeta (+23,65 mV) e alta eficiência de encapsulamento (60,70%). E ainda que, os nanocomplexos ACN-CHC/CMC-WPI exibiram formato esférico suave por microscopia eletrônica de transmissão. Os nanocomplexos, inclusive quando incorporados à bebida de café, protegeram melhor as ACNs em altas temperaturas em comparação com as ACNs não encapsuladas. O estudo sugere que os nanocomplexos de CHC/CMC-WPI podem aumentar a estabilidade térmica e retardar a liberação de ACNs em produtos alimentícios (63).

Além disso, outros autores relatam que nanoemulsões de clorofila extraída de folhas de *Citrus grandis*, popularmente conhecido como pomelo, mantiveram estabilidade térmica e coloração

intacta ao longo de 90 dias a 4 °C, mesmo em condições adversas de armazenamento e pH (61). Recentes achados sobre antocianinas destacam que técnicas de nanoencapsulação utilizando lipídeos, polissacarídeos e proteínas proporcionam proteção eficiente contra degradação oxidativa e fotodegradação, além de melhorar a biodisponibilidade (60).

Essas evidências reforçam o potencial dos sistemas nanotecnológi63cos em preservar compostos sensíveis como antocianinas, carotenóides, e clorofilas, aprimorando a estabilidade funcional e sensorial em aplicações industriais.

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de antioxidantes naturais configura-se como uma estratégia promissora para preservar a qualidade e coloração dos alimentos. Apesar das barreiras industriais relacionadas à padronização de cor, custo, estabilidade e compatibilidade com os processos tecnológicos existentes, os pigmentos naturais como antocianinas, carotenóides, tabalaínas e clorofilas demonstram potencial antioxidante significativo, podendo ser preservado por técnicas de nanotecnologia e/ou combinações sinérgicas, emergindo como alternativa estratégica.

O cenário futuro aponta para um avanço na otimização dos métodos de extração, purificação e estabilização aliado ao aproveitamento de resíduos agroindustriais, tende a consolidar uma tendência clara de valorização dos produtos com rótulos limpos, estimulando a substituição de corantes e conservantes artificiais por alternativas naturais.

REFERÊNCIAS

1. Guarnieri CAP. Avaliação da estabilidade química de corantes naturais utilizados na indústria de alimentos: uma revisão. (Florianópolis): UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA; 2023.

2. Matiucci MA, Rocha JDM, Chambó APS, Alves LF de S, Silva AA, Oliveira GG, et al. Ação antioxidante de pigmentos naturais em filés de tilápia do Nilo defumados. Research, Society and Development (Internet). 2021 Oct 5 (cited 2025 Aug 31);10(13):e79101320464–e79101320464. Available from: https://rsdjournal.org/rsd/article/view/20464

3. Filipini LK, Quichini LP, Wons MCB, Barbieri M, Silva P da C da. Corantes naturais: usos, benefícios e métodos de extração (Internet). 2022 (cited 2025 Aug 31). Available from: https://repositorio.ifsc.edu.br/handle/123456789/2664

4. Pateiro M, Gómez-Salazar JA, Jaime-Patlán M, Sosa-Morales ME, Lorenzo JM. Plant Extracts Obtained with Green Solvents as Natural Antioxidants in Fresh Meat Products. Antioxidants 2021, Vol 10, Page 181 (Internet). 2021 Jan 27 (cited 2025 Aug 31);10(2):181. Available from: https://www.mdpi.com/2076-3921/10/2/181/htm

5. Lara KPS, Flores JGP, López EC, Vega KS, Curiel LG, Escalante EP, et al. Exploración Integral de los Colorantes Naturales en la Industria Alimentaria: Desafíos y Oportunidades. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar. 2024 Jun 25;8(3):4586–614.

6. Loch-Neckel G, Schütz FE, Derner RB, Lemos-Senna E. Obtenção de extratos secos de carotenoides a partir da biomassa da microalga *Haematococcus pluvialis* por secagem em torre de aspersão (spray-drying). Matéria (Rio de Janeiro) (Internet). 2018 (cited 2025 Aug 31);23(4):e12221. Available from: https://www.scielo.br/j/rmat/a/BVGgHmFYnfWQ3SVKShPD5Mn/abstract/?lang=pt

7. Jurić S, Jurić M, Król-Kilińska Ż, Vlahoviček-Kahlina K, Vinceković M, Dragović-Uzelac V, et al. Sources, stability, encapsulation and application of natural pigments in foods. Food Reviews International (Internet). 2022 Nov 17 (cited 2025 Aug 30);38(8):1735–90. Available from: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/87559129.2020.1837862

8. Ferreira AS, Pereira L, Canfora F, Silva TH, Coimbra MA, Nunes C. Stabilization of Natural Pigments in Ethanolic Solutions for Food Applications: The Case Study of Chlorella vulgaris. Molecules (Internet). 2023 Jan 1 (cited 2025 Aug 31);28(1):408. Available from: https://www.mdpi.com/1420-3049/28/1/408/htm

9. Constant PBL, Stringheta PC, Sandi D. Corantes alimentícios. Bol Centro Pesqui Process Aliment. 2002;203–20.

10. Novais C, Molina AK, Abreu RMV, Santo-Buelga C, Ferreira ICFR, Pereira C, et al. Natural Food Colorants and Preservatives: A Review, a Demand, and a Challenge. J Agric Food Chem (Internet). 2022 Mar 9 (cited 2025 Aug 31);70(9):2789–805. Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35201759/

11. Rodrigues TC. Uso de corantes vegetais na indústria de alimentos como alternativa aos corantes artificiais: uma revisão (Internet). 2021 (cited 2025 Aug 31). Available from: https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/62133

12. Matiucci MA, Rocha JDM, Chambó APS, Alves LF de S, Silva AA, Oliveira GG, et al. Ação antioxidante de pigmentos naturais em filés de tilápia do Nilo defumados. Research, Society and Development. 2021 Oct 5;10(13):e79101320464.

13. Landim EMC. Obtenção, caracterização e avaliação da estabilidade de pigmentos naturais microencapsulados. 2008 (cited 2025 Aug 31); Available from: http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/17374

14. Kapoor L, Ramamoorthy S. Strategies to meet the global demand for natural food colorant bixin: A multidisciplinary approach. J Biotechnol (Internet). 2021 Sep 10 (cited 2025 Aug 31);338:40–51. Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34271054/

15. Beltrão Lessa Constant P, Marechal Rondon A, Rosa Elze -Jardim, Cristóvão -SE S, Araújo Pimentel A, Regina da Silva Araujo R, et al. Aplicação da bixina microencapsulada em sitemas alimentícios / Application of microencapsulated bixin in food systems. Brazilian Journal of Development (Internet). 2020 Jul 16 (cited 2025 Aug 31);6(7):47604–17. Available from: https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/13309

16. Rodriguez-Amaya DB. A GUIDE TO CAROTENOID ANALYSIS IN FOODS. (cited 2025 Aug 31); Available from: http://hni.ilsi.org/

17. Boon CS, McClements DJ, Weiss J, Decker EA. Factors influencing the chemical stability of carotenoids in foods. Crit Rev Food Sci Nutr. 2010 Jun;50(6):515–32.

18. Policarpo VMN, Borges SV, Endo É, De Castro FT, Damico AA, Cavalcanti NB. Estabilidade da cor de doces em massa de polpa de umbu (Spondias tuberosa arr. cam.) no estádio de maturação verde. Ciência e Agrotecnologia (Internet). 2007 (cited 2025 Aug 31);31(4):1102–7. Available from: https://www.scielo.br/j/cagro/a/z7dWJVxdB68HCyrwrXwCH8x/?format=html&lang=pt

19. Bendokas V, Stanys V, Mažeikienė I, Trumbeckaite S, Baniene R, Liobikas J. Anthocyanins: From the field to the antioxidants in the body. Antioxidants (Internet). 2020 Sep 1 (cited 2025 Aug 31);9(9):1–16. Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32887513/

20. Căta A, Ienaşcu IMC, Tănasie C, Ştefănuţ MN. THERMAL DEGRADATION OF ANTHOCYANIN PIGMENTS IN BILBERRY, BLACKBERRY AND BLACK MULBERRY EXTRACTS IN THE PRESENCE OF SOME ADDED FOOD ANTIOXIDANTS. Rev Roum Chim (Internet). 2019 (cited 2025 Aug 31);64(10):893–9. Available from: http://web.icf.ro/rrch/

21. Henrique P, De Rossi S, Pedroso De Goes Favoni S, Giannoni JA, Travaglini M, Pereira C. UTILIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE CORANTES NATURAIS EM ALIMENTOS: UMA REVISÃO. RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar - ISSN 2675-6218 (Internet). 2021 Dec 14 (cited 2025 Aug 31);2(11):e211941–e211941. Available from: https://recima21.com.br/recima21/article/view/941

22. He J, Monica Giusti M. Anthocyanins: Natural colorants with health-promoting properties. Annu Rev Food Sci Technol (Internet). 2010 Apr (cited 2025 Aug 31);1(1):163–87. Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22129334/

23. Rocha Concenço FIG da, Stringheta PC, Ramos AM, Terayama Oliveira IH. Blueberry: Functional Traits and Obtention of Bioactive Compounds. Am J Plant Sci. 2014;05(18):2633–45.

24. Melo Miranda B, Vilela Junior O, Santos Fernandes S, Mendes Lemos GR, Schwan CL, Aliaño-González MJ, et al. Potential of New Plant Sources as Raw Materials for Obtaining Natural Pigments/Dyes. Agronomy 2025, Vol 15, Page 405 (Internet). 2025 Feb 5 (cited 2025 Aug 31);15(2):405. Available from: https://www.mdpi.com/2073-4395/15/2/405/htm

25. Matos GB, Jesus MS de, Nunes TP, Santos JAB dos, Araujo HCS, Silva AG da, et al. Corante natural azul da flor comestível clitoria (Clitoria ternatea): extração, caracterização e estabilidade. OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA (Internet). 2024 Feb 26 (cited 2025 Aug 31);22(2):e3454–e3454. Available from: https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/3454

26. Zahreddine S de F. OBTENÇÃO DE CORANTES NATURAIS A PARTIR DE ANTOCIANINAS EXTRAÍDAS DE FRUTAS E LEGUMES. Anais dos Seminários de Iniciação Científica (Internet). 2017 Nov 1 (cited 2025 Aug 31);(21). Available from: https://ojs3.uefs.br/index.php/semic/article/view/2483

27. Mazzoni L, Scalzo J, Di Vittori L, Mezzetti B, Bottino M. Berries. Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry and Human Health: Second Edition (Internet). 2017 Sep 21 (cited 2025 Aug 31);2:883–908. Available from: /doi/pdf/10.1002/9781119158042.ch41

28. Fernandes AB, Paulo S. Uso de compostos betalaínicos na síntese e modulação das características de nanopartículas. 2022 Dec 20 (cited 2025 Aug 31); Available from: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/46/46136/tde-02122022-133309/

29. Da L, Mota SA, Vitória D, Da Costa S, Silva L, Faculdade B, et al. PIGMENTOS NATURAIS COM APLICAÇÕES EM BIOTECNOLOGIA. Métodos Microbiológicos Tradicionais e Avançados para a Segurança de Alimentos (Internet). 2025 (cited 2025 Aug 31);1:100–12. Available from: http://www.editoracientifica.com.br/artigos/pigmentos-naturais-com-aplicacoes-em-biotecnologia

30. Petcu CD, Tăpăloagă D, Mihai OD, Gheorghe-Irimia RA, Negoiță C, Georgescu IM, et al. Harnessing Natural Antioxidants for Enhancing Food Shelf Life: Exploring Sources and Applications in the Food Industry. Foods 2023, Vol 12, Page 3176 (Internet). 2023 Aug 23 (cited 2025 Aug 31);12(17):3176. Available from: https://www.mdpi.com/2304-8158/12/17/3176/htm

31. Nieva-Echevarría B, Goicoechea E, Guillén MD. Effect of adding alpha-tocopherol on the oxidation advance during in vitro gastrointestinal digestion of sunflower and flaxseed oils. Food Research International. 2019 Nov 1;125.

32. Shahidi F, Pinaffi-Langley ACC, Fuentes J, Speisky H, de Camargo AC. Vitamin E as an essential micronutrient for human health: Common, novel, and unexplored dietary sources. Free Radic Biol Med (Internet). 2021 Nov 20 (cited 2025 Aug 31);176:312–21. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0891584921007450?utm_source=chatgpt.com

33. Che P, Zhao ZY, Glassman K, Dolde D, Hu TX, Jones TJ, et al. Elevated Vitamin E content improves all-trans β-carotene accumulation and stability in biofortified sorghum. Proc Natl Acad Sci U S A (Internet). 2016 Sep 27 (cited 2025 Aug 31);113(39):11040–5. Available from: /doi/pdf/10.1073/pnas.1605689113?download=true

34. Yin X, Chen K, Cheng H, Chen X, Feng S, Song Y, et al. Chemical Stability of Ascorbic Acid Integrated into Commercial Products: A Review on Bioactivity and Delivery Technology. Antioxidants (Internet). 2022 Jan 1 (cited 2025 Aug 31);11(1). Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35052657/

35. See XZ, Yeo WS, Saptoro A. A comprehensive review and recent advances of vitamin C: Overview, functions, sources, applications, market survey and processes. Chemical Engineering Research and Design (Internet). 2024 Jun 1 (cited 2025 Aug 31);206:108–29. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026387622400251X

36. Enaru B, Drețcanu G, Pop TD, Stănilă A, Diaconeasa Z. Anthocyanins: Factors Affecting Their Stability and Degradation. Antioxidants 2021, Vol 10, Page 1967 (Internet). 2021 Dec 9 (cited 2025 Aug 31);10(12):1967. Available from: https://www.mdpi.com/2076-3921/10/12/1967/htm

37. The importance of antioxidants in food | Eufic (Internet). (cited 2025 Aug 31). Available from: https://www.eufic.org/en/whats-in-food/article/food-should-also-look-good-why-antioxidants-are-so-important

38. Cory H, Passarelli S, Szeto J, Tamez M, Mattei J. The Role of Polyphenols in Human Health and Food Systems: A Mini-Review. Front Nutr (Internet). 2018 Sep 21 (cited 2025 Aug 31);5:87. Available from: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6160559/

39. Pateiro M, Gómez-Salazar JA, Jaime-Patlán M, Sosa-Morales ME, Lorenzo JM. Plant Extracts Obtained with Green Solvents as Natural Antioxidants in Fresh Meat Products. Antioxidants 2021, Vol 10, Page 181 (Internet). 2021 Jan 27 (cited 2025 Aug 31);10(2):181. Available from: https://www.mdpi.com/2076-3921/10/2/181/htm

40. Crupi P, Faienza MF, Naeem MY, Corbo F, Clodoveo ML, Muraglia M. Overview of the Potential Beneficial Effects of Carotenoids on Consumer Health and Well-Being. Antioxidants (Internet). 2023 May 1 (cited 2025 Aug 31);12(5). Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37237935/

41. Gutiérrez-Del-río I, López-Ibáñez S, Magadán-Corpas P, Fernández-Calleja L, Pérez-Valero Á, Tuñón-Granda M, et al. Terpenoids and polyphenols as natural antioxidant agents in food preservation. Antioxidants (Internet). 2021 Aug 1 (cited 2025 Aug 31);10(8). Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34439512/

42. Geng L, Liu K, Zhang H. Lipid oxidation in foods and its implications on proteins. Front Nutr (Internet). 2023 (cited 2025 Aug 31);10. Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37396138/

43. Fan W, Zhao J, Li Q. Effect of different food additives on the color protection of instant pumpkin flour. Food Chemistry Advances. 2023 Dec 1;3.

44. Geng Y, Cui K, Ding N, Liu H, Huo J, Sui X, et al. Polyphenol co-pigments enhanced the antioxidant capacity and color stability of blue honeysuckle juice during storage. Food Chem X (Internet). 2024 Dec 30 (cited 2025 Aug 31);24:101848. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590157524007363

45. Zhao L, Pan F, Mehmood A, Zhang H, Ur Rehman A, Li J, et al. Improved color stability of anthocyanins in the presence of ascorbic acid with the combination of rosmarinic acid and xanthan gum. Food Chem (Internet). 2021 Jul 30 (cited 2025 Aug 31);351. Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33636535/

46. Che P, Zhao ZY, Glassman K, Dolde D, Hu TX, Jones TJ, et al. Elevated Vitamin E content improves all-trans β-carotene accumulation and stability in biofortified sorghum. Proc Natl Acad Sci U S A (Internet). 2016 Sep 27 (cited 2025 Aug 31);113(39):11040–5. Available from: /doi/pdf/10.1073/pnas.1605689113?download=true

47. Zhang ZH, Chen J, Huang X, Aadil RM, Li B, Gao X. Natural pigments in the food industry: Enhancing stability, nutritional benefits, and gut microbiome health. Food Chem (Internet). 2024 Dec 1 (cited 2025 Aug 31);460(Pt 1). Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39047471/

48. Parveen B, Rajinikanth V, Narayanan M. Natural plant antioxidants for food preservation and emerging trends in nutraceutical applications. Discover Applied Sciences (Internet). 2025 Aug 1 (cited 2025 Aug 31);7(8):1–29. Available from: https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-025-07464-6

49. Han A, Baek Y, Lee HG. Impact of Encapsulation Position in Pickering Emulsions on Color Stability and Intensity Turmeric Oleoresin. Foods. 2025 Feb 1;14(3).

50. Constant PBL, Silva AG da, Borges Â da S, Melo FO, Fanchiotti FE, Silva FLAT da, et al. MICROENCAPSULAÇÃO DE PIGMENTO NATURAL DE URUCUM E AVALIAÇÃO DE SUA ESTABILIDADE. Open Science Research (Internet). 2022 (cited 2025 Aug 31);1:50–65. Available from: https://www.editoracientifica.com.br/artigos/microencapsulacao-de-pigmento-natural-de-urucum-e-avaliacao-de-sua-estabilidade

51. Chen J, Fang W, Liu W, Liu J, Gong P. Microcapsules and Nanoliposomes Based Strategies to Improve the Stability of Blueberry Anthocyanins. Molecules (Internet). 2023 Nov 1 (cited 2025 Aug 31);28(21). Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37959763/

52. Cai D, Li X, Chen J, Jiang X, Ma X, Sun J, et al. A comprehensive review on innovative and advanced stabilization approaches of anthocyanin by modifying structure and controlling environmental factors. Food Chem (Internet). 2022 Jan 1 (cited 2025 Aug 31);366:130611. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814621016174

53. dos Santos RNF, Passos TS, Fernandes R da S, Matsui KN, de Sousa FC, da Silva Chaves Damasceno KSF, et al. Effect of nanoencapsulation on the solubility and antioxidant activity of astaxanthin pigmented oil extracted from shrimp waste (Litopeneaus vannamei). PLoS One (Internet). 2024 Nov 1 (cited 2025 Aug 31);19(11):e0313059. Available from: https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0313059

54. Su L, Nian Y, Li C. Microencapsulation to improve the stability of natural pigments and their applications for meat products. (cited 2025 Aug 31); Available from: https://doi.org/10.48130/FMR-2023-0010

55. MENDES LG. MICROENCAPSULAÇÃO DO CORANTE NATURAL DE URUCUM: UMA ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DA GOMA DO CAJUEIRO COMO MATERIAL DE PAREDE. 2012;

56. Fang JL, Luo Y, Yuan K, Guo Y, Jin SH. Preparation and evaluation of an encapsulated anthocyanin complex for enhancing the stability of anthocyanin. LWT (Internet). 2020 Jan 1 (cited 2025 Aug 31);117:108543. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643819308850?utm_source=chatgpt.com

57. Özkan G, Bilek SE. Microencapsulation of Natural Food Colourants. International Journal of Nutrition and Food Sciences 2014, Volume 3, Page 145 (Internet). 2014 Apr 30 (cited 2025 Aug 30);3(3):145–56. Available from: https://www.sciencepg.com/article/10.11648/j.ijnfs.20140303.13

58. Mahae N, Pichairat D, Chankaew W. Effects of Salt Solution and Drying on the Stability of Chlorophyll Pigments in Chara corallina. King Mongkut's Agricultural Journal. 2025 Jun 23;43(3).

59. Porrarud S, Journal APIFR, 2010 undefined. Microencapsulation of Zn-chlorophyll pigment from Pandan leaf by spray drying and its characteristic. search.ebscohost.comS Porrarud, A

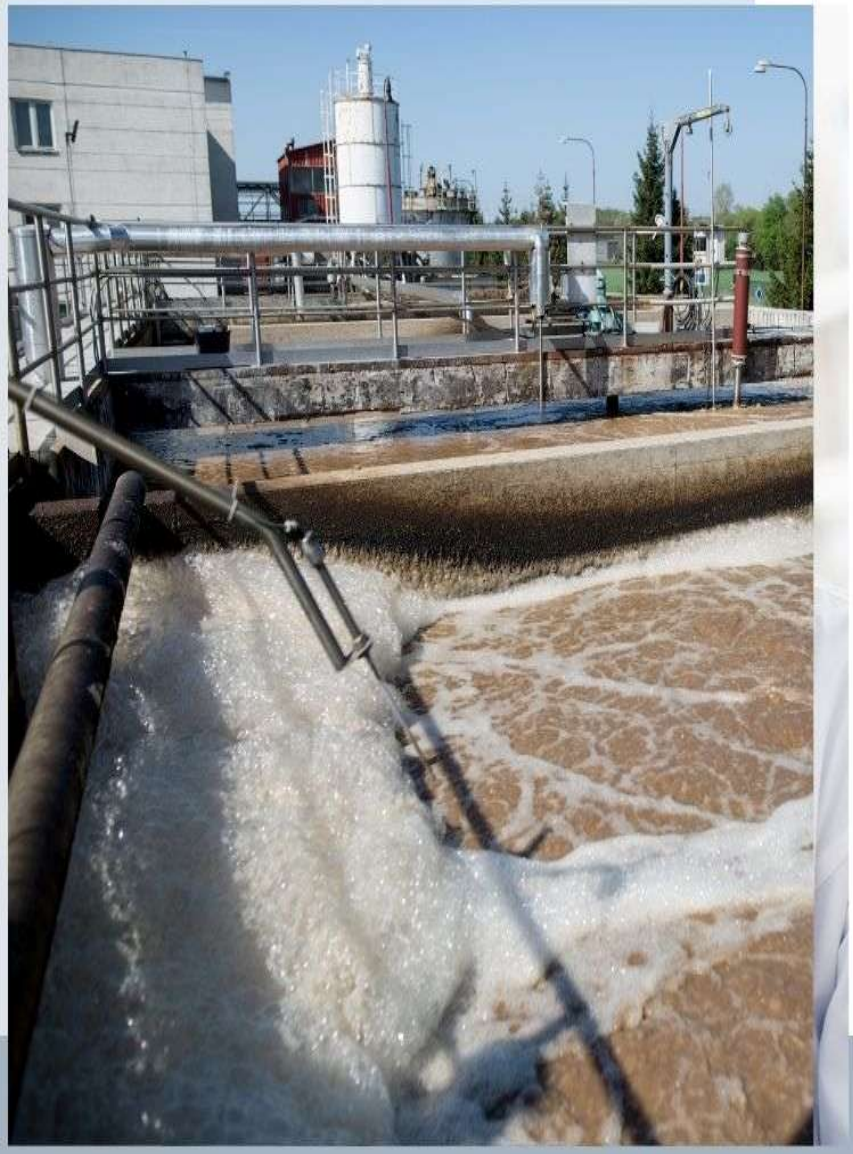
PraneeInternational Food Research Journal, 2010•search.ebscohost.com (Internet). (cited 2025 Aug 30); Available from: https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=19854668&AN=55096955&h=hpqS1xUyFR4zy6yfW9d43Q%2FOb0k7SkwS4ile18sC0LFxzyaLeYtXZuIaKlyqPYY4HsvxLpLv6rRwL99wepFKdw%3D%3D&crl=c

60. Jin ZL, Han K, Chen HY, Zhang XY, Qiao WL, Jia BX. Exploration of phytochemicals and biological functions of Kadsura coccinea pericarpium based on LC-MS and network pharmacology analysis and experimental validation. J Funct Foods (Internet). 2023 Apr 1 (cited 2025 Aug 31);103:105493. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1756464623000932?via%3Dihub

61. Liu MH, Li YF, Chen BH. Preparation of chlorophyll nanoemulsion from pomelo leaves and its inhibition effect on melanoma cells A375. Plants (Internet). 2021 Aug 1 (cited 2025 Aug 31);10(8). Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34451708/

62. Gutiérrez FJ, Albillos SM, Casas-Sanz E, Cruz Z, García-Estrada C, García-Guerra A, et al. Methods for the nanoencapsulation of β-carotene in the food sector. Trends Food Sci Technol (Internet). 2013 Jan 1 (cited 2025 Aug 31);32(2):73–83. Available from: https://www.academia.edu/89929477/Methods_for_the_nanoencapsulation_of_%CE%B2_carotene_in_the_food_sector

63. Wang S, Ye X, Sun Y, Liang J, Yue P, Gao X. Nanocomplexes derived from chitosan and whey protein isolate enhance the thermal stability and slow the release of anthocyanins in simulated digestion and prepared instant coffee. Food Chem (Internet). 2021 Jan 30 (cited 2025 Aug 31);336. Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32763737/



TRATAMENTO DE RESÍDUOS DE INDÚSTRIAS DE ALIMENTOS

DESENVOLVIMENTO DE BISCOITO FUNCIONAL COM RESÍDUOS DE BATATA-DOCE E MALTE: UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL E NUTRITIVA

DEVELOPMENT OF A FUNCTIONAL BISCUIT WITH SWEET POTATO AND MALT RESIDUES: A SUSTAINABLE AND NUTRITIOUS ALTERNATIVE

DOI: 10.65747/conali2025v3c30

Elaine Silva Souza[1]; Eduarda Monteiro Cavalcante[2]; Alexmilde Fernandes da Silva[3]; Severina de Sousa[4]; Adriano Sant'ana Silva[5]

[1]Graduanda em Engenharia de Alimentos – CTRN – UFCG; [2]Graduanda em Engenharia de Alimentos – CTRN – UFCG; [3]Mestranda em Engenharia de Alimentos – CTRN- UFCG; [4]Docente do Departamento de Engenharia de Alimentos – CTRN – UFCG; [5]Docente do Departamento de Engenharia de Alimentos – CTRN – UFCG.

Contato: elaine.souza@estudante.ufcg.edu.br

Resumo: O presente estudo teve como objetivo desenvolver e caracterizar biscoitos funcionais elaborados com resíduos agroindustriais oriundos do processo de destilação de batata-doce (Ipomoea batatas) associada ao malte, propondo uma alternativa inovadora ao uso exclusivo do bagaço de malte relatado em pesquisas anteriores. Foram produzidas duas formulações, com 15% (F15) e 50% (F50) de substituição parcial da farinha de trigo pelo resíduo, submetidas a análises físico-químicas (pH, acidez titulável, atividade de água, cinzas, lipídios, açúcares redutores e totais) e instrumentais de cor e textura (dureza e fraturabilidade). A formulação F50 apresentou pH mais elevado (6,42), menor acidez (0,22 g/100 g), menor umidade (4,99 g/100 g) e maior teor de açúcares totais (270,60 g/100 g) em comparação à F15. As proteínas mantiveram-se acima de 8 g/100 g em ambas as formulações. Embora não tenham sido observadas diferenças significativas nos parâmetros de cor, a dureza e a fraturabilidade foram ligeiramente superiores em F50, indicando crocância mais acentuada. Os resultados demonstram que o resíduo pós-destilação pode atuar não apenas como enriquecedor nutricional, mas também como modificador tecnológico, sem comprometer a qualidade sensorial. Conclui-se que a incorporação de até 50% desse resíduo é viável e representa uma estratégia alinhada à economia circular, reforçando o potencial de inovação sustentável na panificação funcional.

Palavras–chave: agroindustrial; batata-doce; biscoito funcional; malte; resíduos

Abstract: This study aimed to develop and characterize functional biscuits formulated with agro-industrial residues from the distillation of sweet potato (Ipomoea batatas) combined with malt, proposing an innovative alternative to the exclusive use of malt bagasse reported in previous research. Two formulations were produced, with 15% (F15) and 50% (F50) partial replacement of wheat flour by the residue, and subjected to physicochemical analyses (pH, titratable acidity, water activity, ash, lipids, reducing and total sugars) as well as instrumental color and texture evaluations (hardness and fracturability). The F50 formulation showed higher pH (6.42), lower acidity (0.22 g/100 g), lower moisture content (4.99 g/100 g), and higher total sugars (270.60 g/100 g) compared to F15. Protein content remained above 8 g/100 g in both formulations.

Although no significant differences were found in color parameters, F50 exhibited slightly higher hardness and fracturability, indicating greater crispness. The results demonstrate that the post-distillation residue can act not only as a nutritional enhancer but also as a technological modifier, without compromising sensory quality. It is concluded that incorporating up to 50% of this residue is technically feasible and represents a strategy aligned with the principles of circular economy, reinforcing the potential for sustainable innovation in functional bakery products.

Keywords: agroindustrial; sweet potato; functional biscuit; malt; waste.

INTRODUÇÃO

O crescente interesse por práticas sustentáveis na cadeia produtiva de alimentos tem incentivado pesquisas voltadas à valorização de resíduos agroindustriais, com o objetivo de reduzir impactos ambientais e agregar valor a subprodutos tradicionalmente descartados (1). A busca por soluções ambientalmente responsáveis e economicamente viáveis está alinhada às diretrizes de desenvolvimento sustentável estabelecidas por organizações internacionais e adotadas por diversos países, incluindo o Brasil (2). Nesse contexto, os resíduos gerados durante a produção de bebidas alcoólicas — como aqueles provenientes da fermentação e destilação de matérias-primas ricas em amido e açúcares — configuram alternativas promissoras para formulações alimentares inovadoras (3,4).

A batata-doce (*Ipomoea batatas*) é uma raiz tuberosa amplamente cultivada no Brasil e no mundo, reconhecida por sua versatilidade e elevado valor nutricional (5). Rica em carboidratos complexos, fibras, compostos fenólicos e outros nutrientes bioativos, tem sido utilizada tanto na alimentação tradicional quanto como insumo para fermentados e destilados (6). No processo de produção de bebidas alcoólicas a partir dessa raiz, especialmente quando associada ao malte, forma-se um resíduo composto por fibras, açúcares residuais e outros compostos de interesse tecnológico para a indústria de alimentos (7).

Pesquisas apontam que o reaproveitamento desse resíduo pode ser uma estratégia eficiente para o desenvolvimento de novos produtos com apelo funcional (8). Weber (9) demonstrou a viabilidade técnica e econômica da produção de destilado a partir da batata-doce, evidenciando que o subproduto obtido após a destilação concentra fibras e nutrientes que podem ser aproveitados em alimentos panificados, como biscoitos, agregando valor nutricional e tecnológico.

O Brasil ocupa atualmente a segunda posição no ranking mundial de produção de biscoitos, o que evidencia o potencial mercadológico para inovações neste segmento (10). A crescente demanda por alimentos funcionais e sustentáveis tem impulsionado a

utilização de resíduos ricos em fibras e compostos bioativos (11). O bagaço de malte, por exemplo, já foi incorporado com sucesso em biscoitos e cookies, elevando o teor de fibras e a qualidade nutricional, sem comprometer a aceitação sensorial (12,13).

Diante desse cenário, este estudo tem como objetivo **desenvolver e caracterizar um biscoito funcional utilizando o resíduo do destilado de batata-doce e malte como ingrediente alternativo**. Especificamente, busca-se: (i) verificar a viabilidade tecnológica da incorporação do resíduo na formulação do biscoito; (ii) caracterizar as propriedades físico-químicas e de textura do produto; e (iii) comparar os resultados obtidos com formulações descritas na literatura científica, avaliando o impacto do uso do resíduo sobre a qualidade final do biscoito.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa caracteriza-se como um estudo quantitativo e experimental, desenvolvido nos laboratórios da Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos (UAEALI), vinculada ao Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), campus Campina Grande – PB.

Foram utilizados os seguintes ingredientes: farinha de trigo, resíduo do destilado de batata-doce e malte, cacau em pó, leite em pó integral, açúcar, ovos e manteiga. Todos foram adquiridos aleatoriamente em supermercados locais com recursos próprios. O resíduo foi previamente coletado, desidratado em estufas, moído e armazenado em recipiente hermético até o momento da utilização.

Os ingredientes foram pesados em proporções adequadas para cada formulação, conforme apresentado na **Tabela 1**. O resíduo foi utilizado como substituto parcial da farinha de trigo em duas concentrações distintas (15% e 50%), valores definidos com base em estudos prévios que indicam níveis seguros de substituição sem comprometer a aceitabilidade tecnológica e sensorial do produto (12,13). Dessa forma, o nível de 15% foi adotado como um limite mínimo para avaliar o enriquecimento nutricional sem alterações marcantes na textura e aparência, enquanto 50% foi escolhido como um limite máximo para testar a viabilidade tecnológica da incorporação em maior escala.

Tabela 1 – Formulação base para os biscoitos

Item	Quantidade
Farinha de Trigo	160g
Cacau em pó	30g
Leite em pó integral	30g
Açúcar	170g

Ovos	50g
Manteiga	100g
Água potável	20g

Fonte: Autores, 2025

O processo de elaboração dos biscoitos seguiu as etapas apresentadas no **Fluxograma (Figura 1)**: primeiramente, a manteiga e o açúcar foram homogeneizados manualmente. Posteriormente, os ovos e o leite em pó foram incorporados à mistura, mantendo-se a agitação até a formação de um creme uniforme. Em seguida, os demais ingredientes secos foram adicionados, e a massa foi misturada vigorosamente até obter-se uma textura homogênea e modelável.

Após o preparo, a massa foi deixada em repouso por 20 minutos. Em seguida, foi pesada, modelada com moldes apropriados e disposta em assadeiras previamente untadas com gordura vegetal. A cocção foi realizada em forno convencional a 150 °C durante aproximadamente 10 minutos. Após esse período, os biscoitos foram removidos das assadeiras com auxílio de espátula inox, resfriados à temperatura ambiente e acondicionados em recipientes plásticos fechados, para posterior análise. Fotografias representativas do processamento, incluindo massa, modelagem e produto final, são apresentadas na Figura 2.

Figura 1 – Fluxograma das etapas para elaboração do biscoito

Fonte: Autores, 2025

Figura 2 – Imagens do processamento: Massa, modelagem e produto final

Fonte: Autores, 2025

As análises físico-químicas (pH, acidez, atividade de água, cinzas, proteínas, lipídios, açúcares redutores e totais) foram realizadas em triplicata, seguindo a metodologia descrita pelas Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (16).

A análise instrumental de cor (L*, a*, b*) foi realizada por reflectância no sistema CIELAB, utilizando colorímetro portátil (FRU, WR-10QC, Shenzhen, China), calibrado em padrão branco, iluminante D65 e observador a 10°. A textura (dureza e fraturabilidade) foi avaliada por compressão uniaxial em texturômetro (TA.XT plus – Texture Analyzer, Stable Micro Systems) utilizando Probe HDP/3PB, com distância de retorno igual a 30 mm a 2,0 mm/s, considerando a força máxima no ponto de ruptura e a distância até a primeira fratura. O software utilizado foi o Exponent Stable Micro Systems.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software Statistica 7.0 (StatSoft Inc., EUA). Todas as análises seguiram rigorosamente os procedimentos descritos nas Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (16), garantindo a confiabilidade e reprodutibilidade dos resultados obtidos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A utilização de resíduos oriundos da destilação de batata-doce e do malte na elaboração de biscoitos demonstrou-se eficaz, tanto na melhoria do perfil nutricional quanto na aceitação sensorial do produto final. As formulações desenvolvidas apresentaram diferenças significativas entre si, especialmente nos teores de fibras, proteínas e lipídeos, conforme os dados obtidos nas análises físico-químicas. A Tabela 2 apresenta os resultados da composição centesimal das duas formulações analisadas: F15 (15% de resíduo) e F50 (50% de resíduo).

Tabela 2 – Resultados da composição centesimal das formulações

Parâmetros	Formulações	
	(F15)	(F50)
pH	$6,16^{b} \pm 0,01$	$6,42^{a} \pm 0,02$
Acidez (g/100 g)	$0,51^{a} \pm 0,05$	$0,22^{b} \pm 0,12$
Teor de água (g/100 g)	$6,10^{a} \pm 0,04$	$4,99^{b} \pm 0,01$
Cinzas (g/100 g)	$1,13^{a} \pm 0,06$	$0,95^{b} \pm 0,02$
Proteína (g/100 g)	$8,47^{a} \pm 0,21$	$8,17^{a} \pm 0,06$
Lipídios (g/100 g)	$45,47^{b} \pm 0,45$	$48,23^{a} \pm 0,15$
Açúcares totais (g/100 g)	$245,03^{a} \pm 15,56$	$270,60^{a} \pm 22,73$
Açúcares redutores (g/100 g)	$124,92^{a} \pm 0,05$	$124,90^{a} \pm 0,07$
Densidade aparente (g/mL)	$0,48^{b} \pm 0,01$	$0,51^{a} \pm 0,00$
Densidade compactada (g/mL)	$0,54^{a} \pm 0,03$	$0,58^{a} \pm 0,00$

Fonte: Autores, 2025

A utilização de resíduos oriundos da destilação de batata-doce e do malte na elaboração de biscoitos demonstrou resultados bastante promissores, tanto no aspecto nutricional quanto na aceitação sensorial do produto final. A análise físico-química das formulações indicou diferenças significativas entre os biscoitos com 15% (F15) e 50% (F50) de resíduos adicionados, evidenciando o impacto direto da incorporação desses resíduos na composição centesimal dos biscoitos.

No que diz respeito ao pH, a formulação F50 apresentou um valor mais elevado (6,42) em relação à F15 (6,16), enquanto a acidez foi reduzida de 0,51 g/100 g em F15 para 0,22 g/100 g em F50. Esse comportamento sugere que o aumento da concentração de resíduos na formulação resultou em um produto menos ácido, o que pode contribuir positivamente para a estabilidade microbiológica e sensorial dos biscoitos. Além disso, observou-se uma redução no teor de água à medida que a porcentagem de resíduos aumentou, o que também favorece a conservação do produto e proporciona uma textura mais crocante, desejável em biscoitos. Embora o teor de água esteja dentro do limite máximo de 14% estabelecido pela legislação brasileira para biscoitos secos (17), o acréscimo de resíduos pode ter elevado a retenção de água devido ao maior teor de fibras dietéticas, conforme descrito por Assis et al. (18).

O teor de cinzas, indicador da presença de minerais, reduziu com a adição de resíduos. Essa redução pode estar relacionada à diluição da fração mineral devido à substituição parcial da farinha de trigo, mesmo que os resíduos possuam composição mineral relevante, conforme observado por Oliveira et al. (10).

Já os teores de proteína apresentaram valores semelhantes nas duas formulações (8,47 g/100 g em F15 e 8,17 g/100 g em F50), demonstrando que a adição dos resíduos não comprometeu o valor proteico do alimento. Isso reforça o potencial proteico dos resíduos utilizados, especialmente do malte, o que já havia sido identificado por Campos et al. (20) como um benefício nutricional relevante em produtos de panificação.

Em relação ao teor lipídico, observou-se uma leve redução com o aumento dos resíduos. Isso pode estar relacionado à diluição da fração lipídica presente nos demais ingredientes pela adição de resíduos com menor conteúdo de gordura, como também observado em formulações funcionais por Cardoso et al. (19).

Os teores de açúcares totais foram mais elevados na formulação F50 (270,60 g/100 g) em comparação à F15 (245,03 g/100 g), o que pode estar relacionado à presença de carboidratos residuais provenientes do malte e da batata-doce. Apesar

disso, os açúcares redutores se mantiveram praticamente constantes entre as formulações. A presença mais acentuada de açúcares totais pode ter contribuído para um sabor mais adocicado, favorecendo a aceitação sensorial do produto. Esse comportamento era esperado, visto que os resíduos adicionados possuem maior teor de fibras e proteínas, resultando em menor fração disponível de carboidratos totais (6).

Por fim, os dados de densidade indicaram que a formulação com maior teor de resíduos apresentou maior densidade aparente e compactada. Esse resultado pode refletir uma textura mais firme e menos aerada, o que influencia diretamente na percepção do consumidor durante a mastigação. Essa característica, combinada com o menor teor de umidade, pode tornar o produto mais agradável ao paladar e com melhor crocância (18, 19).

Além das propriedades físico-químicas, foram avaliados parâmetros de cor e textura, essenciais para a aceitação do produto. A Tabela 3 apresenta os resultados das análises realizadas.

Tabela 3 – Resultados das análises de Cor e Textura

Parâmetros	**Formulações**	
	(F15)	**(F50)**
Cor *L	17,82^{a} ± 1,85	18,03^{a} ± 1,88
Cor *a	-7,10^{a} ± 3,96	-7,53^{a} ± 5,34
Cor *b	5,47^{a} ± 1,74	5,64^{a} ± 1,15
Dureza (N)	224,07^{a} ± 19,41	235,43^{a} ± 32,71
Fraturabilidade (mm)	1,90^{b} ± 0,06	2,30^{a} ± 0,19

Fonte: Autores, 2025

A análise instrumental de cor (sistema CIELAB) das formulações (Tabela 3) indicou que não houve diferenças significativas ($p > 0,05$) entre F15 e F50 para os parâmetros L*, a* e b*. Os valores de L* (17,82 ± 1,85 para F15 e 18,03 ± 1,88 para F50) sugerem coloração geral escura para ambas as formulações, o que pode estar relacionado ao uso de cacau em pó e ao processo de cocção, que intensifica reações de escurecimento, como Maillard e caramelização.

No parâmetro a*, responsável pela variação na escala vermelho–verde, os valores negativos observados (-7,10 ± 3,96 em F15 e -7,53 ± 5,34 em F50) indicam tendência para tonalidade esverdeada, possivelmente influenciada pela presença de compostos fenólicos e pigmentos provenientes dos resíduos de batata-doce e malte, que podem sofrer alterações durante o processamento térmico. Já o parâmetro b*, associado à intensidade da coloração amarela–azulada, apresentou valores positivos

próximos (5,47 ± 1,74 para F15 e 5,64 ± 1,15 para F50), demonstrando uma leve predominância de tons amarelados, o que pode estar relacionado à composição de açúcares e aminoácidos que participam das reações de Maillard.

A ausência de diferenças significativas entre as formulações indica que a substituição parcial da farinha de trigo por até 50% de resíduos não alterou perceptivelmente a aparência cromática dos biscoitos, mantendo um padrão visual uniforme. Esse resultado é importante do ponto de vista mercadológico, pois garante a padronização da cor, atributo sensorial relevante para a aceitação do produto, conforme já destacado por Piovesana et al. (14) e Souza et al. (15) em estudos com panificados enriquecidos com resíduos agroindustriais. Além disso, a tonalidade escura observada pode influenciar positivamente a percepção sensorial, sendo comumente associada a sabores mais intensos e marcantes — como os provenientes do cacau, da caramelização e da reação de Maillard.

A análise de textura, realizada por meio de teste de compressão no texturômetro, revelou diferenças nos parâmetros de dureza e fraturabilidade entre as formulações (Tabela 3). A formulação F50 apresentou maior valor médio de dureza (235,43 N) em comparação à F15 (224,07 N), sugerindo que o aumento do teor de resíduos de batata-doce e malte pode ter contribuído para uma estrutura mais firme. Esse comportamento pode estar associado ao maior teor de fibras presentes na formulação F50. Resultados semelhantes foram observados por Assis et al. (18) em pães enriquecidos com fibras, em que o aumento do conteúdo fibroso resultou em produtos com maior resistência à compressão. Esse efeito é atribuído à capacidade das fibras de interagir com a matriz de amido e proteínas, reforçando a estrutura e elevando a dureza final. De forma análoga, Cardoso et al. (19) relataram que a incorporação de resíduos ricos em fibras em biscoitos funcionais promoveu incremento nos valores de dureza, corroborando os achados do presente estudo.

Quanto à fraturabilidade, F50 também apresentou valor superior (2,30 mm) em relação à F15 (1,90 mm), indicando que os biscoitos com maior teor de resíduos suportam maior deformação antes da ruptura. Essa característica pode estar relacionada à interação dos polissacarídeos do resíduo com a matriz proteica e amilácea, resultando em uma textura ligeiramente menos quebradiça. Resultados semelhantes foram encontrados por Cardoso et al. (19) ao utilizar resíduos ricos em fibras na formulação de biscoitos funcionais.

Do ponto de vista sensorial, uma dureza ligeiramente elevada, combinada com fraturabilidade adequada, pode ser positiva para produtos do tipo cookie ou biscoito

seco, contribuindo para uma crocância mais pronunciada, atributo valorizado pelo consumidor. Assim, a adição de resíduos agroindustriais, além de benefícios nutricionais, demonstrou potencial para modulação desejável da textura final.

De modo geral, os resultados obtidos demonstram que a incorporação de resíduos agroindustriais na formulação de biscoitos é uma alternativa viável, que agrega valor nutricional e tecnológico ao produto final, ao mesmo tempo em que promove o aproveitamento sustentável de resíduos da indústria alimentícia. Trata-se, portanto, de uma estratégia promissora para o desenvolvimento de alimentos funcionais com apelo ecológico, econômico e social. Esses resultados são consistentes com outros estudos que demonstram que a substituição parcial de farinhas refinadas por resíduos agroindustriais pode melhorar o perfil nutricional de produtos de panificação, contribuindo para o desenvolvimento de alimentos mais funcionais e sustentáveis (8–10).

Entretanto, este estudo avança em relação às pesquisas anteriores ao propor a utilização de resíduos oriundos da destilação de batata-doce associada ao malte, e não apenas do bagaço de malte, como amplamente relatado na literatura (10,12,13). Essa combinação é inovadora, pois integra duas matérias-primas com perfis nutricionais complementares: a batata-doce, rica em fibras e carboidratos complexos (6), e o malte, fonte relevante de proteínas e compostos bioativos (20). Diferentemente dos estudos que se limitaram ao aproveitamento de subprodutos da cervejaria (12,15), aqui foi demonstrada a viabilidade de reaproveitar um resíduo pós-destilação, que geralmente tem menor valor agregado e destino limitado.

Além disso, o trabalho reforça o papel do resíduo como um ingrediente tecnológico, influenciando textura e densidade do produto, atributos pouco explorados em pesquisas semelhantes, que priorizaram apenas a composição centesimal. Essa abordagem contribui para o avanço científico ao mostrar que o resíduo pode atuar não apenas como enriquecedor nutricional, mas também como modificador de propriedades físicas desejáveis em biscoitos funcionais.

Do ponto de vista da sustentabilidade, os resultados confirmam que a substituição de até 50% da farinha de trigo é tecnicamente viável, representando uma estratégia alinhada à economia circular e às metas de redução de desperdício alimentar (1,2). Assim, este estudo não apenas confirma achados de trabalhos anteriores, mas amplia as perspectivas de utilização de resíduos agroindustriais, apresentando uma alternativa prática para o desenvolvimento de produtos inovadores com apelo ecológico, econômico e mercadológico.

CONCLUSÕES

A incorporação de resíduos do destilado de batata-doce e malte na formulação de biscoitos demonstrou ser uma alternativa viável, tanto do ponto de vista nutricional quanto tecnológico. Os resultados obtidos revelaram melhorias nos parâmetros físico-químicos, como redução de umidade, aumento do pH e manutenção de bons níveis de proteínas, fibras e açúcares, sem comprometer a estrutura do produto. Além disso, a proposta contribui significativamente para o reaproveitamento de resíduos agroindustriais, reduzindo impactos ambientais e promovendo a sustentabilidade na cadeia produtiva de alimentos. Como desdobramento deste estudo, sugere-se a realização de testes sensoriais com consumidores, além da avaliação da vida de prateleira e da estabilidade microbiológica dos biscoitos. Futuras pesquisas também podem explorar a aplicação desses resíduos em outras categorias de alimentos, ampliando ainda mais seu potencial de aproveitamento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), às agências de fomento e a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, pelo apoio técnico e estrutural para a realização deste estudo. Agradecemos também aos professores Dra. Severina de Sousa e Dr. Adriano Sant'ana Silva pelo apoio e disponibilidade durante o desenvolvimento desta pesquisa, pelo suporte metodológico durante a condução das análises físico-químicas.

REFERÊNCIAS

1. Yaashikaa, P., Kumar, S., & Varjani, S. (2021). Valorization of agro-industrial wastes for biorefinery process and circular bioeconomy: A critical review.. *Bioresource technology*, 126126. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126126.
2. De Andrade Neto, C., De Oliveira Costa, R., Sarmento, M., Santos, L., De Andrade, A., & Rodrigues, M. (2025). Environmental Sustainability in Rural Businesses in Brazil. *Revista de Gestão Social e Ambiental*. https://doi.org/10.24857/rgsa.v19n5-022.
3. Ferreira SRS. Aproveitamento de resíduos da agroindústria na elaboração de biscoitos funcionais. 2017. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. Disponível em: https://locus.ufv.br/handle/123456789/11930

4. Wust MJ. Utilização de subprodutos agroindustriais na formulação de alimentos: aplicação do bagaço de malte em biscoitos. 2018. 76 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. Disponível em: https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/59231
5. Escobar-Puentes, A., Palomo, I., Rodríguez, L., Fuentes, E., Villegas-Ochoa, M., González-Aguilar, G., Olivas-Aguirre, F., & Wall-Medrano, A. (2022). Sweet Potato (Ipomoea batatas L.) Phenotypes: From Agroindustry to Health Effects. *Foods*, 11. https://doi.org/10.3390/foods11071058.
6. Vieira LMF, Santos EM, Oliveira ALB, Silva JGC, Lima CC. Propriedades nutricionais e funcionais da batata-doce. Rev Bras Agroind. 2023;45(2):112–9. Disponível em: https://www.revistaagroind.com.br/artigo-batata-doce
7. Noreen, S., Niazi, M., Shehzadi, S., Ikram, A., Arshad, M., & Gnedeka, K. (2024). Extend the emphasis to encompass sweet potatoes health advantages, industrial applications, and nutritional qualities. *CyTA - Journal of Food*, 22. https://doi.org/10.1080/19476337.2024.2390994.
8. Zou, X., Dai, K., Zhang, M., Zhang, R., Jia, X., Dong, L., , Q., Liang, S., Wang, Z., Deng, M., & Huang, F. (2024). Fibra alimentar de resíduo de batata-doce com diferentes métodos de processamento: propriedades físico-químicas, funcionais e bioatividade in vitro. *LWT*. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116581.
9. Weber LS. Elaboração de destilado a partir de batata-doce: caracterização físico-química, rendimento e viabilidade econômica. 2017. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR. Disponível em: https://repositorio.uem.br/handle/1/3302.
10. OLIVEIRA, A. M. C. et al. Aproveitamento do bagaço de malte como potencial ingrediente na composição de alimentos: uma revisão bibliográfica. *Revista Fitos*, v. 17, n. 1, p. 45–54, 2023. Disponível em: https://revistaft.com.br/aproveitamento-do-bagaco-de-malte-como-potencial-ingrediente-na-composicao-de-alimentos-uma-revisao-bibliografica/. Acesso em: 16 jul. 2025.
11. Ivanović, N., Ilić, T., Zrnić-Ćirić, M., Todorović, V., Đuričić, I., & Dabetić, N. (2023). Subprodutos agroalimentares como fonte de ingredientes sustentáveis para a produção de alimentos funcionais e nutracêuticos. *Arquivo de Farmácia*. https://doi.org/10.5937/arhfarm73-44481.
12. 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.
13. WUST, D. M. Elaboração e caracterização de biscoito tipo cookie com bagaço de malte proveniente da produção de cerveja artesanal. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2018.
14. PIOVESANA, A.; BUENO, M. M.; KLAJN, V. M. Elaboração e aceitabilidade de biscoitos enriquecidos com aveia e farinha de bagaço de uva. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 16, n. 1, p. 68–72, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1981-67232013005000007. Acesso em: 16 jul. 2025.
15. SOUZA, A. M. et al. Biscoito funcional com adição de bagaço de malte: propriedades físico-químicas e sensoriais. 2017. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/182765. Acesso em: 16 jul. 2025.
16. ZENEBON, O.; PASCHOALINO, J. E. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p. Disponível em:

http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_2008.pdf. Acesso em: 16 jul. 2025.
17. BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 23 set. 2005. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2005/rdc0263_22_09_2005.html. Acesso em: 31 jul. 2025.
18. Assis LM, Dantas JPS, Oliveira VQ, Guimarães VT. Utilização de fibras alimentares em produtos panificados. *Rev Inst Ciênc Saúde*. 2019;37(1):45–50.
19. Cardoso GP, Queiroz MI, Soares Junior MS. Elaboração de biscoito funcional com subprodutos da agroindústria. *Rev Bras Prod Agroind*. 2020;22(3):47–55.
20. Campos RG, Lima SHG, Sousa AR. Caracterização de resíduos do malte e sua aplicação em panificação. *Alim Nutr*. 2021;32(2):213–9.

EIXO TEMÁTICO

TÓPICOS EM ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO

JENIPAPO PODCAST: EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E ENGAJAMENTO SOCIAL EM SUSTENTABILIDADE NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

JENIPAPO PODCAST: SCIENTIFIC EDUCATION AND SOCIAL ENGAGEMENT IN SUSTAINABILITY IN THE FOOD INDUSTRY

DOI: 10.65747/conali2025v3c31

Elayne Santos Silva[1]; Rafaella de Carvalho Boaventura[1]; Andrea Limoeiro Carvalho[2]; Taís Silva de Oliveira Brandão[3]; Vanessa Lúcia Carneiro[3]

[1]Estudante do Curso de Engenharia de Alimentos – UEFS; E-mail: elaynesantos.uefs@gmail.com, rafaelladecbuefs@gmail.com

[2]Docente/pesquisador do Depto de Eng Química/Escola Politécnica – DEQ/EPoli – UFBA.

[3]Docente/pesquisador do Depto de Tecnologia – DTEC – UEFS.

Resumo: A divulgação científica em formatos acessíveis, como podcasts, é uma estratégia promissora para democratizar o debate sobre sustentabilidade na indústria de alimentos. Este artigo analisa a atuação do projeto de extensão universitária JeniPAPO Podcast, que, em sua terceira temporada, abordou o tema “Engenharia de Alimentos e Sustentabilidade” por meio de 11 (onze) episódios temáticos. A iniciativa fomentou discussões sobre práticas sustentáveis, economia circular, aproveitamento de resíduos e uso eficiente de recursos hídricos, enfatizando a importância da colaboração entre academia, indústria e sociedade para a construção de sistemas alimentares mais sustentáveis. Os episódios, disponíveis no Spotify (JeniPAPO - Ciência, Tecnologia e Engenharia de Alimentos) e Instagram (@jenipapopodcast), servem como ferramenta de educação científica e engajamento social. A análise dos episódios publicados e do engajamento nas mídias sociais destaca a relevância da comunicação científica via podcasts como estratégia educativa.

Palavras–chave: comunicação científica; extensão universitária; podcast educativo

Abstract: Scientific dissemination in accessible formats such as podcasts is a promising strategy for democratizing the debate on sustainability within the food industry. This article examines the role of the university outreach project *JeniPAPO Podcast*, which, in its third season, addressed the theme “Food Engineering and Sustainability” through 11 (eleven) thematic episodes. The initiative fostered discussions on sustainable practices, circular economy, waste valorization, and efficient use of water, emphasizing the significance of collaboration among the academy, industry, and society for building more sustainable food systems. The episodes, available on Spotify (JeniPAPO – Science, Technology, and Food Engineering) and Instagram (@jenipapopodcast), serve as tools for scientific education and social engagement. The analysis of published episodes and social media engagement highlights the relevance of podcast-based science communication as an educational strategy.

Keywords: educational podcast; science communication; university outreach

INTRODUÇÃO

A universidade é um ambiente de aprendizagem, discussões, desenvolvimento de pesquisas e produção de conhecimento, que estão relacionados a demandas da sociedade. Sendo assim, é importante que essas informações sejam compartilhadas com a comunidade, numa linguagem acessível, para transmitir conhecimento, provocar reflexões e mudanças de atitude e divulgar ações da instituição (1).

Particularmente, a sustentabilidade tornou-se uma pauta central em diversas áreas devido às crises climáticas, cujos impactos se tornaram visíveis globalmente, e tem provocado debates e busca por medidas eficientes que minimizem e/ou evitem esses danos no meio ambiente (2). Na indústria de alimentos, esta é uma preocupação crescente, motivada pelas exigências de consumidores conscientes, que valorizam empresas que adotem práticas sustentáveis (3). A Engenharia de Alimentos tem participação importante nesse sentido. Dessa forma, é de grande relevância tratar desse tema com estudantes da graduação, Engenheiros de Alimentos em formação, convidando-os a se aprofundar nessa área, e transmitir o conhecimento adquirido não apenas para as indústrias de alimentos, mas também para a sociedade em geral.

Neste cenário, o JeniPAPO Podcast, projeto de extensão vinculado ao curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), na sua terceira temporada, expandiu sua abordagem ao explorar a sustentabilidade e sua relação com a Engenharia de Alimentos. A escolha desse tema se deu justamente devido à crescente preocupação com a adoção de métodos sustentáveis, promovendo um equilíbrio entre desenvolvimento e compromisso ambiental (4,5).

Esta postura é decorrente das regulamentações e políticas públicas, que passaram a exigir que as instituições adotassem práticas mais sustentáveis. Tal exigência encontra respaldo na Constituição Federal de 1988, especialmente no artigo 225, que estabelece o direito de todos a um meio ambiente ecologicamente equilibrado e impõe ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. Também o artigo 170, ao tratar dos princípios da ordem econômica, inclui a defesa do meio ambiente como diretriz essencial da atividade produtiva (6). Assim, as indústrias têm responsabilidade jurídica e social nesse processo. Entretanto, apesar desses avanços normativos, ainda persistem lacunas na compreensão e efetivação de seu papel no contexto da sustentabilidade. Muitas vezes, a adoção dessas iniciativas é percebida apenas como um diferencial competitivo, especialmente na indústria de alimentos. Esta realidade evidencia a importância da universidade como espaço de formação crítica, de difusão de conhecimento acessível e incentivo à transformação das práticas socioambientais (7,8).

O desenvolvimento das tecnologias digitais para divulgação científica vem se expandindo de forma que conhecimentos acadêmicos, anteriormente restritos a especialistas da área, agora são disseminados de maneira acessível para diferentes públicos. Sob essa perspectiva, a utilização de plataformas digitais, como serviços de streaming e redes sociais, não apenas amplia a difusão do conhecimento, mas também se apresenta como um meio eficiente para avaliar qualitativamente as demandas da sociedade para determinados temas (9). Um exemplo é o uso de podcast como ferramenta de informação, que tem se mostrado uma alternativa interessante para ampliar o olhar crítico dos consumidores, descomplicando temas como economia circular, redução de desperdício e uso eficiente de recursos naturais (10).

Os podcasts desempenham um papel fundamental na divulgação científica, pois, diferentemente da comunicação científica tradicional, essa divulgação através de mídias nos permitem traduzir conteúdos acadêmicos em uma linguagem menos formal, fazendo o uso constante de exemplos e aplicações, tendo assim uma atenção aos aspectos socioculturais e linguísticos do público (9). Ao compreender seu papel no processo, os consumidores passam a pressionar as empresas para que divulguem suas práticas ambientais ou, caso ainda não as tenham, adotem algumas medidas. Esse crescimento da consciência crítica dos consumidores têm provocado mudanças estratégicas das empresas/indústrias. Pesquisas indicam que a demanda dos consumidores por transparência tem levado empresas a implementar práticas de compliance, rastreabilidade e compromissos ambientais (11). Além disso, essa conscientização leva a escolhas de consumo mais sustentáveis, reduzindo desperdícios e incentivando o reaproveitamento de materiais, fortalecendo a transição para um modelo de produção mais equilibrado. Dessa forma, a comunicação científica, por meio de podcasts, não apenas facilita o acesso à informação, mas também atua como um agente transformador.

Vale ressaltar que um cuidado imprescindível na propagação dos conteúdos é a sua veracidade, pois a difusão de informações científicas imprecisas constitui um obstáculo na formação crítica da sociedade, especialmente no campo da ciência e tecnologia de alimentos. Dessa forma, o JeniPAPO Podcast, se estabelece também como ferramenta de enfrentamento à desinformação. Por meio de episódios disponíveis em plataformas digitais e divulgação via redes sociais, o projeto promove conteúdos técnico-científicos acessíveis, contribuindo para o desenvolvimento de senso crítico nos ouvintes e para a valorização do conhecimento acadêmico (12). Assim, o JeniPAPO Podcast surge como uma iniciativa que busca aproximar a universidade da comunidade por meio da comunicação científica informal, contribuindo para o esclarecimento de mitos e a valorização da ciência na área de alimentos.

O projeto parte do princípio de que a educação científica é fundamental para o engajamento social e a tomada de decisões, especialmente no contexto de sustentabilidade na indústria de alimentos. Ao tornar o conhecimento acessível e estimular debates críticos, o projeto reforça seu compromisso com a construção de uma sociedade mais informada e participativa, onde a ciência atua na transformação de hábitos de consumo e é capaz de impulsionar mudanças no setor.

Considerando a importância de estratégias comunicativas para a democratização do conhecimento científico, este estudo teve como objetivo analisar a audiência e o alcance da terceira temporada do JeniPAPO Podcast na promoção da educação científica voltada à sustentabilidade na indústria de alimentos. Procurou-se, ainda, evidenciar o potencial do podcast enquanto ferramenta de extensão universitária e de comunicação pública da ciência, contribuindo para a aproximação entre a produção acadêmica e a sociedade de forma acessível e engajadora.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo se caracteriza como uma pesquisa qualitativa, do tipo estudo de caso, com foco na análise do perfil alcançado na terceira temporada do JeniPAPO Podcast, vinculado ao curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS). A investigação considerou os episódios publicados entre setembro de 2023 e abril de 2025 nas plataformas de áudio, com dados estatísticos

coletados na plataforma de depósito de podcast Spotify for Creators, e as interações e formas de engajamento observadas no perfil oficial do projeto na rede social Instagram (@jenipapopodcast) relacionadas à temática da sustentabilidade na indústria de alimentos.

A metodologia adotada (Figura 1) envolveu a análise do conteúdo publicado no Instagram do projeto, com o objetivo de compreender se as estratégias de engajamento e divulgação se mostraram eficazes durante o período estudado. Para isso, foram considerados dados sobre o número de ouvintes nas plataformas de áudio e o alcance das publicações na rede social. Complementarmente, realizou-se um comparativo entre o número de reproduções por faixa etária e o perfil etário dos estudantes do curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS). Ainda que não seja possível assegurar que a totalidade do público ouvinte pertença ao referido curso, tal comparação permite avaliar a consonância entre as faixas etárias dos ouvintes e o público-alvo estabelecido, composto por estudantes de graduação. Os dados institucionais referentes ao perfil etário dos discentes do curso são, portanto, utilizados como parâmetro de referência para essa análise.

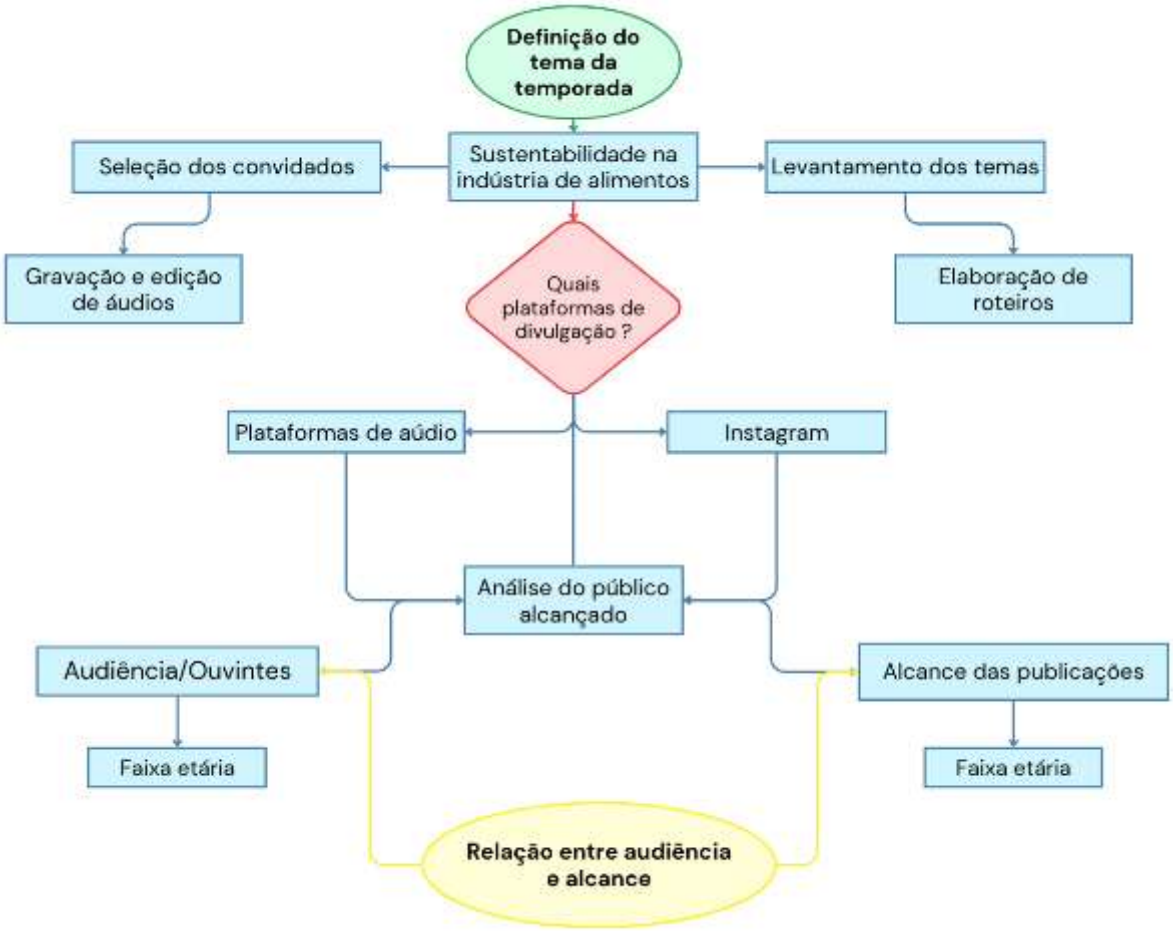


Figura 1 – Etapas metodológicas do JeniPAPO Podcast da definição do tema à avaliação de audiência e alcance
Fonte: Autoras, 2025

A elaboração dos roteiros dos episódios foi realizada de forma colaborativa pela equipe do projeto de extensão, por meio de reuniões internas e levantamento bibliográfico sobre os temas que seriam abordados. A construção dos conteúdos incluiu a consulta a materiais científicos atualizados e confiáveis, conforme a orientação

metodológica de Malta *et al.* (12), além da identificação de especialistas que pudessem contribuir com discussões qualificadas sobre os assuntos tratados.

A seleção dos temas iniciais foi conduzida pela equipe com o intuito de contemplar tópicos considerados importantes para introduzir os ouvintes a conceitos de sustentabilidade dentro da área de Engenharia de Alimentos. Como critério orientador, adotaram-se os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), propostos pela Organização das Nações Unidas, com ênfase nos ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), 6 (Água potável e saneamento), 12 (Consumo e Produção Responsáveis) e 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima). Esses objetivos forneceram uma base temática para garantir a relevância e a coerência dos conteúdos abordados nos episódios, permitindo a aproximação entre as práticas da indústria alimentícia e os compromissos globais de sustentabilidade. A definição dos temas também buscou facilitar a compreensão dos ouvintes, descomplicando assuntos como economia circular, redução de desperdício e uso eficiente de recursos naturais. Houve, ao longo do processo, uma preocupação constante com a qualidade e a veracidade das informações divulgadas, priorizando fontes acadêmicas e especialistas reconhecidos.

Entre os convidados participaram professores, pesquisadores, estudantes de pós-graduação e engenheiros de alimentos com atuação profissional em diferentes setores da indústria. O episódio “Comunidade em ação: a coleta seletiva no Colégio Odorico Tavares” teve participação de professoras e estudantes do ensino médio dessa instituição parceira do JeniPAPO, que está desenvolvendo um projeto de coleta seletiva. As gravações foram realizadas em reuniões online ou presenciais, de acordo com a disponibilidade dos entrevistados. A edição dos episódios foi feita com o uso do software Audacity, um programa de código aberto e acesso gratuito. A publicação final dos episódios foi realizada por meio da plataforma digital Creators.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Temas Abordados nos Episódios

A terceira temporada do JeniPAPO Podcast abordou diversos temas relacionados à sustentabilidade na indústria de alimentos, detalhados em título, audiência e alcance na Tabela 1. A audiência está relacionada aos ouvintes dos episódios nas plataformas de áudio, e o alcance, ao número total de pessoas que visualizaram as postagens no Instagram.

Tabela 1 – Título, audiência e alcance, em números absolutos, dos episódios JeniPAPO Podcast publicados na terceira temporada.

Episódio	Audiência	Alcance
Engenharia de alimentos e sustentabilidade: qual a relação?	48	263
Qual seu papel na cadeia sustentável?	58	134
Comunidade em ação: A coleta seletiva no Colégio Odorico Tavares	79	218

O poder da água na indústria de alimentos: Impactos, Eficiência e Inovação	54	335
A sede da indústria: O equilíbrio entre necessidade e sustentabilidade	61	155
Água mineral: Qualidade, sustentabilidade e consumo	38	100
Transformando resíduos em recursos: Água na indústria de alimentos	10	360
De resíduo a recurso: A ciência dos microrganismos na indústria de alimentos	36	461
Resíduos com propósito: o papel dos subprodutos na indústria	24	1.024
Rumo à economia circular: Benefícios e desafios da indústria de alimentos	39	660
Bioeconomia e o impacto social da sustentabilidade	32	1.590

Fonte: Instagram e Spotify for Creators, 2024

A avaliação da audiência e do alcance revela variações expressivas, conforme indicado na Tabela 1, destacando diferenças entre a interação nas mídias sociais e o consumo efetivo dos episódios nas plataformas de áudio. Um exemplo notável foi o EPISÓDIO 33 "*Transformando resíduos em recursos: Água na indústria de alimentos",* que apresentou o menor número de ouvintes da temporada, com apenas 10 reproduções. Acredita-se que essa baixa audiência possa ter sido influenciada pela necessidade de republicação, causada por um corte técnico na versão original, o que pode ter comprometido sua visibilidade. Ainda assim, o tema abordado nesse episódio, assim como nos demais, se referem a questões urgentes para a sustentabilidade global.

A escolha dos temas abordados nos episódios transparece a preocupação com a sustentabilidade na indústria de alimentos, conforme destacado pela BRF Ingredients (13), um campo que tem ganhado destaque na literatura científica e nas políticas globais devido às novas tendências de mercado e expansão pelas práticas sustentáveis. A relação entre Engenharia de Alimentos e Sustentabilidade é fundamental, pois a produção de alimentos é uma das atividades humanas que mais consome recursos naturais, como água, minerais, solo e energia, e gera impactos ambientais significativos, incluindo emissões de gases de efeito estufa e geração de resíduos (14). Dessa forma há uma preocupação em disseminar o conhecimento sobre o assunto, visto que, os padrões de consumo recentes estão se transformando e conectando cada vez mais com as novas formas de acessar informações (14). Assim, permitir que os consumidores tenham acesso ao conhecimento disponível é uma estratégia eficaz para incentivar e direcionar as cadeias produtivas para sistemas mais sustentáveis.

A escolha dos tópicos apresentados nos episódios apresenta relações interdisciplinares que envolvem engenharia, ciência ambiental e tecnologia de alimentos. A discussão sobre sustentabilidade no setor alimentício é respaldada por estudos como os de Santos e Martins (15), que destacam o impacto de alimentos produzidos globalmente que são perdidos ou desperdiçados, gerando consequências ambientais e econômicas significativas.

A Figura 1 ilustra uma das estratégias de divulgação digital implementadas durante o período da Temporada 3, que empregou cards visuais publicados no Instagram para veicular conteúdos temáticos, tanto em publicações como em Stories na página. Essa abordagem digital se mostra particularmente eficaz no contexto educacional contemporâneo, servindo como motivação para propostas pedagógicas que estimulam o engajamento discente. A metodologia não apenas facilita a interação entre participantes de um mesmo nicho, mas também promove conexões entre diferentes grupos, além de permitir consultas imediatas a diversos materiais (16).

Figura 1 – Cards de divulgação de episódios
Fonte: Autoras, 2025.

Os materiais gráficos desenvolvidos, como exemplificado pelo EPISÓDIO 31 (*A Sede da Indústria: O Equilíbrio entre Necessidade e Sustentabilidade*) e pelo EPISÓDIO 34 (*De Resíduo a Recurso: A Ciência dos Microrganismos na Indústria de Alimentos*), apresentam uma combinação equilibrada entre o visual e conteúdo informativo que seria abordado nos episódios. Segundo Lencastre e Chaves (17), o uso de elementos visuais no processo educacional amplia sua função meramente ilustrativa, assumindo papel central como linguagem autônoma. Essa perspectiva reforça o valor das imagens como ferramentas cognitivas essenciais, capazes não apenas de complementar, mas de estruturar o pensamento do ouvinte e a construção do conhecimento.

Ao longo desta seção, são discutidos os perfis de ouvintes e seguidores do JeniPAPO Podcast em sua terceira temporada sob diferentes perspectivas, analisando a relação entre perfil demográfico dos ouvintes e engajamento com os canais de comunicação utilizados pelo projeto.

Podcast como Ferramenta Educacional: Comparação entre Audiência e Engajamento nas Mídias Sociais

Embora o engajamento nas redes sociais, particularmente no Instagram, tenha crescido ao longo do tempo (18), ampliando a divulgação dos conteúdos e fortalecendo a interação com o público, esse aumento não se refletiu nos resultados proporcionalmente no número de reproduções dos episódios nas plataformas de áudio. Segundo Bússola (19), essa discrepância sugere que o comportamento dos ouvintes varia conforme o canal de acesso à informação, pois há uma divisão geracional no uso de redes sociais e isso pode indicar que a expansão da presença digital não implica, necessariamente, em um maior consumo do podcast. Este comportamento também foi observado no JeniPAPO Podcast, com um aumento no engajamento em relação à temporada anterior, maior divulgação dos conteúdos e fortalecimento da interação com o público, porém, sem um aumento proporcional no número de reproduções dos episódios nas plataformas de áudio. A relação entre engajamento digital e consumo efetivo dos episódios do JeniPAPO Podcast evidencia diferenças importantes no perfil demográfico dos ouvintes, conforme a plataforma utilizada, como observado na Figura 2, que mostra o percentual de ouvintes por faixa etária.

Como ilustra o gráfico da Figura 2, o perfil do JeniPAPO Podcast no Instagram concentra uma audiência predominantemente de um público mais jovem, entre 18 e 34 anos, com destaque para as faixas de 25 a 34 anos (41,2%), 18 a 24 anos (18,4%) e contando ainda com a presença ampliada de pessoas entre 35 e 44 anos (24,6%). Já nas plataformas de áudio, apesar das divisões etárias mais específicas, foi possível identificar que o público alcançado se encontra na faixa entre 25 a 34 anos, contemplando assim cerca de 52% dos ouvintes das plataformas de áudio, seguido de ouvintes entre 18 e 24 (20%). Essa distribuição etária reforça que o meio de acesso à informação influencia diretamente no consumo do conteúdo, evidenciando a importância do desenvolvimento de estratégias que conversem com esses diferentes perfis e garantam a conversão do engajamento digital em ouvintes ativos do podcast.

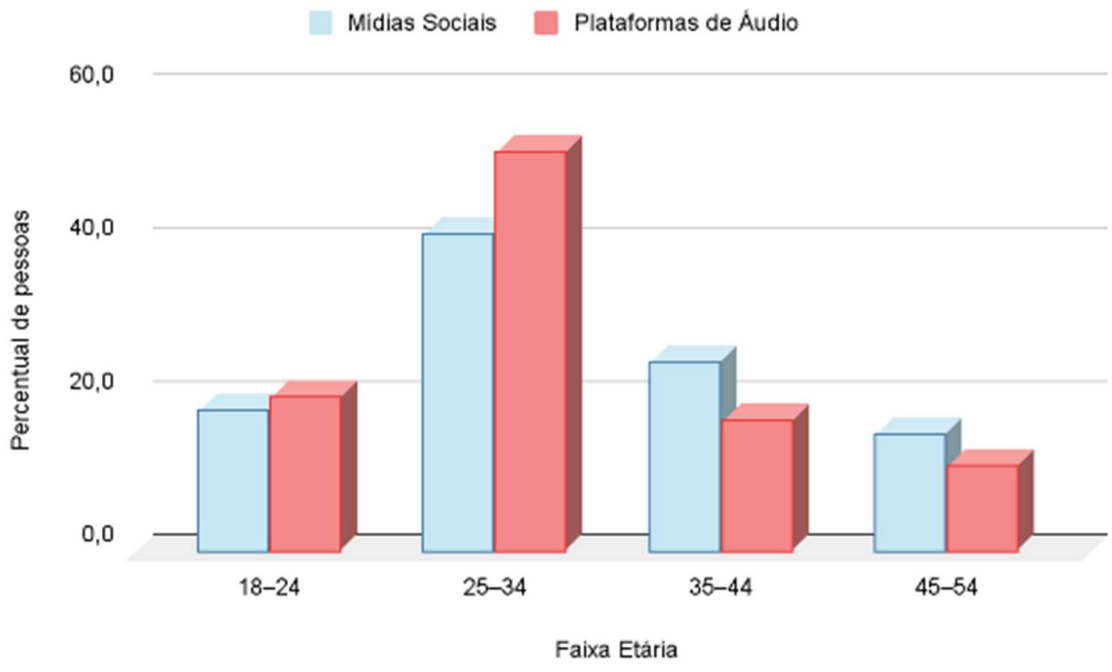


Figura 2 – Gráfico referente a variação do engajamento em diferentes plataformas de divulgação do JeniPAPO Podcast
Fonte: Instagram e Spotify for Creators, 2024

Complementarmente, a Figura 3 apresenta um comparativo entre a faixa etária dos ouvintes e a dos estudantes matriculados no curso de graduação em Engenharia de Alimentos da UEFS. A análise desses dados revela uma discrepância, permitindo visualizar com maior clareza o afastamento entre o público alcançado e o público alvo originalmente previsto pelo projeto.

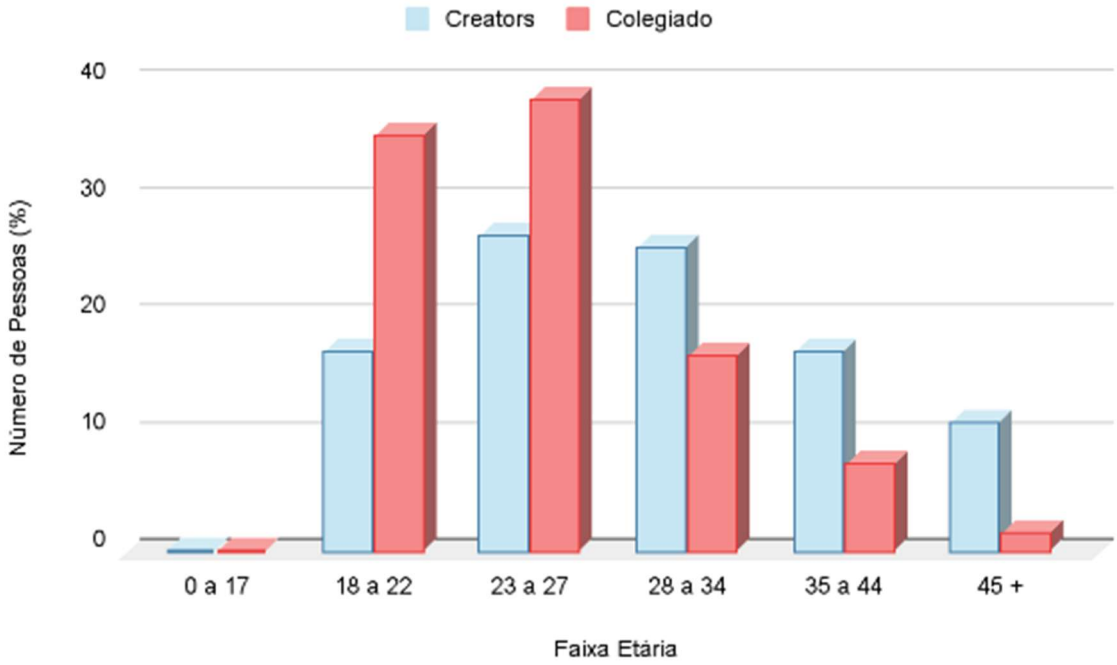


Figura 3 – Gráfico de de comparação da faixa etária dos creators versus perfil etário dos estudantes da UEFS

Fonte: Autoras e Spotify for Creators, 2024

A distribuição etária predominante entre os ouvintes diverge do perfil dos estudantes de graduação, incluindo os do curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), público-alvo inicial do projeto. Essa divergência indica que o podcast alcançou majoritariamente um público externo, o que sugere sua consolidação como uma ferramenta de disseminação científica com capacidade de atingir diferentes perfis etários e extrapolar os limites do ambiente acadêmico. A maior parte dos estudantes do curso estão dentro da faixa etária entre 18 e 27 anos, o que corresponde a um total de 74,2% dos matriculados, em contrapartida, o percentual de ouvintes nessa faixa etária é de apenas 44%, o que reforça a abrangência do projeto para além dos muros da instituição. Esse fato é positivo, pois demonstra que o projeto está cumprindo seu papel na democratização do conhecimento ao levar informação para além dos muros universitários. No entanto, a baixa participação dos próprios estudantes da UEFS revela um desafio, uma vez que o projeto também foi concebido como um mecanismo de suporte acadêmico para os discentes da instituição.

A baixa adesão dos estudantes pode estar associada a diversos fatores, como a ausência de estratégias específicas de divulgação no ambiente acadêmico, às preferências individuais dos alunos em relação ao formato de aprendizado, e possivelmente a aspectos relacionados à divisão geracional no uso de redes sociais, conforme discutido por Bússola (19). Para enfrentar essa questão e aumentar o engajamento, algumas estratégias estão sendo estudadas para implementação nas próximas temporadas. A primeira envolve o fortalecimento da divulgação institucional, utilizando canais oficiais da universidade, como comunicados internos, murais informativos e eventos acadêmicos. Além disso, a integração do podcast como material complementar em disciplinas, por meio de parcerias com professores, pode incentivar a escuta dos episódios no contexto educacional.

Podcasting no Brasil: Análise do Cenário Atual e Caminhos para Aprimoramento

O estudo "PodPesquisa 2024/2025", conduzido pela Associação Brasileira de Podcasters - ABPod (20), apresenta uma análise abrangente sobre o cenário de podcasts e videocasts no Brasil, destacando tendências, preferências e desafios do setor. A pesquisa aponta que a Bahia ocupa a 6ª posição entre os 24 estados participantes, com 4,89% dos correspondentes, evidenciando sua relevância na produção e consumo de podcasts no país. O crescimento dessa mídia acompanha o movimento nacional, impulsionado pela diversidade de conteúdos e pela ampliação das plataformas de distribuição.

Segundo a Associação Brasileira de Podcasters (20), no que se refere à preferência de plataformas, o Spotify lidera com 49,71% da audiência, seguido pelo YouTube, que representa 25,57% dos ouvintes. Para produtores de conteúdo exclusivamente em áudio, esse cenário consolida o Spotify como um canal essencial para alcance e engajamento. O estudo "PodPesquisa 2024/2025" também revela um consumo expressivo de podcasts, com 40,23% dos ouvintes escutando diariamente e 23,56% mais de uma vez ao dia. A descoberta de novos conteúdos ocorre principalmente por redes sociais (19,29%), seguidas por indicações de outros podcasters (20,51%) e recomendações de amigos e familiares (18,74%).

Esses dados reforçam a importância do marketing digital e das estratégias de engajamento, tornando as redes sociais um importante veículo para a expansão do público e a consolidação de podcasts no Brasil. Ainda segundo o estudo da ABPod (2025), em relação às temáticas mais populares, o segmento de tecnologia se destaca, com 14,98% dos ouvintes demonstrando preferência por conteúdos relacionados à inovação, inteligência artificial e tendências da indústria. Quando observado o cenário atual do Brasil e a construção do projeto, percebe-se que o podcast pode ser usado como uma ferramenta de disseminação científica, ampliando seu alcance para além do meio acadêmico e conquistando uma audiência diversificada. Conforme ilustrado na Figura 2, o JeniPAPO Podcast alcançou um público etariamente diversificado. Essa abrangência demonstra a capacidade do podcast em dialogar com diferentes gerações, potencializando seu impacto como ferramenta de educação científica. A relevância dos temas abordados, como economia circular e sustentabilidade, aliada à flexibilidade do formato, contribuíram para o aprendizado dos ouvintes e a divulgação do curso de Engenharia de Alimentos.

Entretanto, para acompanhar essa evolução e ampliar a audiência, ainda há pontos que precisam ser aprimorados. Apesar do desempenho do projeto no Instagram, com altos índices de alcance e engajamento nas publicações, como no caso do

EPISÓDIO 37 *"Bioeconomia e o impacto social da sustentabilidade"* que registrou o maior alcance da temporada com 1.590 contas alcançadas, não houve uma conversão em audiência, sendo o episódio acessado por apenas 32 ouvintes. Isso acontece, pois o consumo do podcast exige uma dedicação temporal e cognitiva diferente (21).

Enquanto as redes sociais oferecem conteúdo breve e visual, os episódios em áudio demandam atenção prolongada. Além disso, observou-se que há uma preferência pelo formato videocast, que alia os recursos visuais ao conteúdo abordado, aumentando assim o tempo de retenção dos ouvintes (20). Essa transição reflete mudanças nos padrões de consumo, indicando que é possível converter engajamento em audiência, através da priorização em promover experiências audiovisuais.

Com isso, percebe-se que, para maximizar o potencial do projeto, é necessário equilibrar inovação e adaptação às novas preferências de consumo, garantindo que o crescimento digital se traduza em uma audiência engajada e ativa. Diante dessa necessidade, uma abordagem relevante envolve a criação de mecanismos de interatividade, como enquetes, desafios e debates sobre os temas abordados, estimulando maior envolvimento dos estudantes. Além disso, eventos presenciais e híbridos, como rodas de conversa e palestras com especialistas convidados, oferecem oportunidades para interação direta com os conteúdos discutidos no podcast, reforçando sua relevância acadêmica. A produção de materiais complementares, como vídeos curtos e infográficos, também permite adaptar o conteúdo às diferentes preferências do público.

Os dados demográficos da audiência indicam uma abrangência além dos limites da universidade, evidenciando a expansão do alcance para a comunidade externa. A concentração de 58,6% da audiência em Feira de Santana, município onde o projeto é produzido, reflete não apenas a origem institucional do JeniPAPO Podcast, mas também o potencial das universidades públicas como pólos irradiadores de conhecimento para suas comunidades. Em contraste com a baixa adesão em Salvador (8,8%) e São Paulo (1,1%), os dados sugerem que o envolvimento direto da comunidade acadêmica local na produção e divulgação, facilitaram a disseminação do podcast em seu território de origem. Quanto ao perfil de gênero, a audiência é majoritariamente feminina (75%), um dado relevante que pode ser explicado pelo fato de as mulheres representarem a maioria entre os estudantes brasileiros na educação superior (22) e que se reflete nos dados de alunos ativos do curso de Engenharia de Alimentos da UEFS, como pode ser observado no gráfico ilustrado na Figura 4. A baixa participação masculina de ouvintes (20%), de acordo com Costa (23), pode estar ligada a estereótipos de consumo midiático ou à falta de conteúdos que dialoguem com suas realidades, sendo que os homens pesquisados segundo o autor, preferem consumir o meio virtual para produtos eletrônicos e bens de consumo.

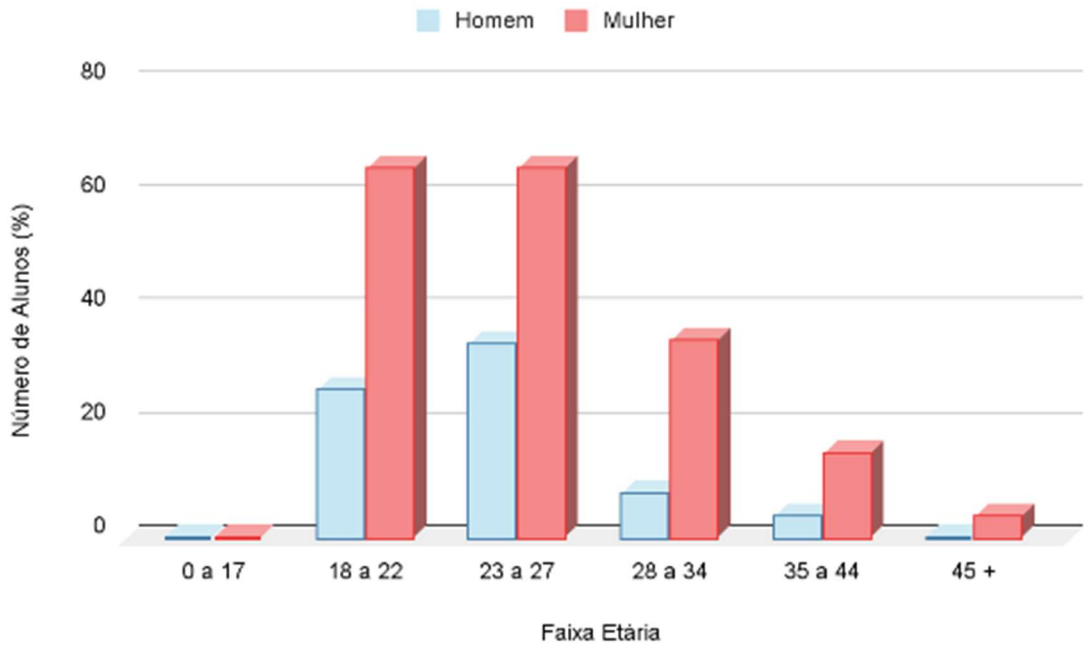


Figura 4 – Distribuição de alunos do curso de Engenharia de Alimentos da UEFS por faixa etária e gênero

Fonte: Autoras, 2025.

A distribuição por faixa etária mostra-se expressiva: entre 18-22 anos (91 alunos: 26M e 65F), 23-27 anos (99 alunos: 34M e 65F), 28-34 anos (43 alunos: 8M e 35F) e 35-44 anos (19 alunos: 4M e 15F). Chama atenção ainda a presença de quatro alunas acima de 44 anos (49, 49, 55 e 61 anos), todas do sexo feminino. De acordo com Idoeta (24), isso pode ser explicado pelo fato de homens sem ensino superior apresentarem uma taxa de emprego mais alta, e salários superiores em comparação às mulheres na mesma condição. O estímulo para que eles optem por ingressar diretamente no mercado de trabalho, em vez de seguir os estudos, tende a ser relativamente maior, um ponto a ser explorado em futuras pesquisas qualitativas.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos ao longo da terceira temporada do JeniPAPO Podcast evidenciam que a divulgação científica em formatos acessíveis contribui de forma efetiva para a democratização do conhecimento, principalmente em pautas tão urgentes, quanto a sustentabilidade na indústria de alimentos. Contudo, a baixa adesão dos estudantes da instituição indica que o projeto deve investir no aperfeiçoamento das estratégias de divulgação interna, fundamentada em uma análise detalhada do perfil desse público. Para temporadas futuras, propõe-se o estudo de alternativas para adoção de recursos visuais, como o videocast, com objetivo de alinhar-se aos hábitos de consumo midiático daquela comunidade. A análise dos dados demonstram ainda que, apesar dos desafios relacionados à conversão do engajamento digital em audiência nas plataformas de áudio, o projeto cumpriu seu papel ao ultrapassar os limites institucionais e alcançar um público diversificado quanto à faixa etária e localização geográfica. Essa abrangência reforça a capacidade do projeto em dialogar com diferentes realidades sociais, simplificando pautas complexas e tornando-as acessíveis

a públicos não especializados. Mais do que promover reflexões sobre sustentabilidade, a iniciativa vem se consolidando como uma ação estratégica para a visibilidade do curso de Engenharia de Alimentos, ao envolver também estudantes do ensino médio em ações colaborativas como a coleta seletiva. Esse intercâmbio entre diferentes níveis de formação fortalece a aproximação entre ciência, sociedade e práticas sustentáveis.

AGRADECIMENTOS

Às bolsas concedidas pela Universidade Estadual de Feira de Santana, através do Programa Interno de Bolsas de Extensão (PIBEX). Ao financiamento do projeto de extensão pelo Programa de Auxílio Financeiro Programas e Projetos de Extensão (PIAFPPEX).

REFERÊNCIAS

(1) COLL, L. **Projetos de divulgação científica da Unicamp difundem conhecimento acadêmico a público não especializado.** 15 out. 2021. Disponível em: https://unicamp.br/unicamp/noticias/2021/10/15/projetos-de-divulgacao-cientifica-na-unicamp-difundem-conhecimento-academico/. Acesso em 14 jul. 2025.

(2) FAUSTINO, M.; AMADOR, F. O conceito de sustentabilidade: migração e mudanças de significados no âmbito educativo. **Indagatio Didactica**, Aveiro, v. 8, n. 1, 2016. DOI: 10.34624/id.v8i1.12623

(3) BÖCK, V. R. B.; TARTAROTTI, L.; REIS, Z. C. dos. Sustentabilidade em empresas do segmento alimentício na região do Vale do Caí-RS. **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**, Curitiba, v. 8, n. 6, p. 13-36, 2023. DOI: 10.5281/zenodo.10066526

(4) PARVATHY, S. U.; Kolil, V. K.; Raman, R.; VINUESA, R.; ACHUTHAN, K. Integrating sustainable development goals into life cycle thinking: a multidimensional approach for advancing sustainability. **Environment, Development and Sustainability**, p. 1-39, 2025. DOI: 10.1007/s10668-024-05810-z

(5) BALSALOBRE-LORENTE, D.; NUR, T.; TOPALOGLU, E. E. Examining the sustainable development process through the economic complexity, technology, urbanization, and renewable energy in D-8 countries. **Quality & Quantity**, 2025. DOI: 10.1007/s11135-025-02161-3

(6) **BRASIL. Constituição (1988).** Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 18 jul. 2025.

(7) BIGGI, G.; PRINCIPATO, L.; CASTELLACCI, F. **Food waste reduction, corporate responsibility and national policies: evidence from Europe.** British Food Journal, v. 126 n. 13, p. 470-485, 2024. DOI: 10.1108/BFJ-11-2023-0982.

(8) NORTHCOTT, T.; LAWRENCE, M.; PARKER, C.; BAKER, P. **Ecological regulation for healthy and sustainable food systems: responding to the global rise of ultra-processed foods.** Agriculture and Human Values, v. 40, p. 1333-1358, 2023. DOI: 10.1007/s10460-022-10412-4

(9) DE ARAÚJO, J. F.; DA SILVA, A. K. A.; AUTRAN, M. M. M.; TELMO, F. A. Divulgação Científica e Podcast: disseminação do conhecimento científico na Ciência da Informação. **Brazilian Journal of Information Science**, v. 17, p. 45, 2023. DOI: 10.36311/1981-1640.2023.v17.e023046

(10) DE PAULA, S. A.; FIGUEIRÓ, R. The use of podcast media as an innovative practice in higher education. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 12, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i12.11124.

(11) ALVARENGA, J.; MARTINS, J. T.; LEVIZ, M; LALLI, N; GHOBRIL, A. N. **A Importância Da Gestão Da Cadeia De Suprimentos Na Estratégia De Sustentabilidade Na Indústria Alimentícia.** 9° EMPRAD - Encontro dos programas de pós-graduação profissionais em administração, 2023.

(12) MALTA, Helia Lucila et al. Jenipapo Podcast: Discentes E Docentes Unidos Para A Divulgação Do Conhecimento Científico. **Interfaces-Revista de Extensão da UFMG**, v. 11, n. 1, 2023. Disponível em: https://periodicos.ufmg.br/index.php/revistainterfaces/article/view/34585. Acesso em: 19 jul. 2025.

(13) BRF INGREDIENTS. **A sustentabilidade na indústria de alimentos**. BRF Ingredients, 27 jan. 2020. Disponível em: https://www.brfingredients.com/pt-br/blog/posts/a-sustentabilidade-na-industria-de-alimentos/. Acesso em: 18 jul. 2025

(14) WWF-BRASIL. **Impactos ambientais da alimentação é tema de vídeos do WWF-Brasil**. 1 ago. 2017. Disponível em: https://www.wwf.org.br/?59882/Impactos-ambientais-da-alimentao--tema-de-vdeos-do-WWF-Brasil. Acesso em: 18 jul. 2025.

(15) SANTOS, P. H. A.; MARTINS, R. A. Sistemas de medição de desempenho e desperdício de alimentos: Revisão sistemática da literatura. **Revista de Administração de Empresas**, v. 61, n. 5, 2021. DOI: 10.1590/S0034-759020210505

(16) SANTOS, R. O. DOS; RUDNIK, R. M. L. **Instagram e a educação: algumas considerações**. Revista Brasileira de Educação, v. 27, 28 nov. 2022. DOI: 10.1590/S1413-24782022270099

(17) LENCASTRE, J. A.; CHAVES, J. H. Ensinar pela imagem. **Revista Galego-Portuguesa de Psicoloxía e Educación**, (S. l.), v. 10, n. 8, p. (6 p.), 2003. ISSN: 1138-1663. Disponível em: https://hdl.handle.net/1822/26021. Acesso em: 16 jul. 2025.

(18) DOS ANJOS, T. A. S.; PAIVA, L. E. B.; LIMA, L. R. R.; COSTA FILHO, F. C. Dimensões da influência do Instagram nas decisões de compra dos consumidores. **Signos do Consumo**, v. 16, n. 2, p. e228890, 2024. DOI: 10.11606/issn.1984-5057.v16i2e228890

(19) BÚSSOLA. **Adolescentes preferem Instagram, enquanto mais velhos optam pelo Facebook.** Exame, 16 out. 2021. Disponível em: https://exame.com/bussola/adolescentes-preferem-instagram-enquanto-mais-velhos-optam-pelo-facebook/. Acesso em: 14 jul. 2025.

(20) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PODCASTERS. PodPesquisa 2024/2025: Panorama do podcast no Brasil - desafios e oportunidades. (S.l): **ABPod,** 2025.

(21) OLIVEIRA, T. **O consumo de podcasts na sociedade da produtividade.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Cultura Material e Consumo: perspectivas semiopsicanalíticas) – Escola de Comunicações e Artes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

(22) BARROS, S. C. DA V.; MOURÃO, L. Panorama da participação feminina na educação superior, no mercado de trabalho e na sociedade. **Psicologia & sociedade**, v. 30, 2018. DOI: 10.1590/1807-0310/2018v30174090

(23) COSTA, W. de S. **"Quem te indicou?" Os ambientes sociais virtuais e o comportamento de consumo dos homens.** 2015. 150 f. Dissertação (Mestrado em Administração) - Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.

(24) IDOETA, P. A. **Mulheres são maioria nas universidades brasileiras, mas têm mais dificuldades em encontrar emprego.** BBC News Brasil, São Paulo, 10 set. 2019. Disponível em: https://www.bbc.com/portuguese/geral-49639664. Acesso em 14 jul. 2025.

O USO DO *REFRACTANCE WINDOW DRYING* POR PESQUISADORES DA AMÉRICA DO SUL: UMA ANÁLISE CIENCIOMÉTRICA

THE USE OF REFRACTANCE WINDOW DRYING BY SOUTH AMERICAN RESEARCHERS: A SCIENTOMETRIC ANALYSIS

DOI: 10.65747/conali2025v3c32

Anna Santos Costa[1]; Maria Sza Amaral Santos Ferreira[2]; Flávia Luiza Araújo Tavares da Silva[3] Mônica Silva de Jesus[4]; Patrícia Beltrão Lessa Constant[5]; Angelise Durigon[6]

[1]Estudante do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos – PROCTA – UFS; annasantos616@gmail.com

[2]Estudante do Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos – CCET/DTA – UFS;

mszaamaral@gmail.com

[3]Estudante do Programa de Pós-graduação em Biotecnologia – RENORBIO/SE – UFS; flavialuats@hotmail.com

[4]Pesquisadora do Laboratório de Flavor e Análises Cromatográficas (LAF) – UFS;

[5]Docente do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos – PROCTA – UFS;

[6]Docente do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos – PROCTA – UFS

Resumo: A *Refractance Window Drying (RWD),* também denominado na literatura por *Cast-tape Drying (CTD)* ou *Conductive hydro Drying,* é um processo de secagem utilizado para a obtenção de pós, flocos e filmes. O método destaca-se por sua viabilidade técnica/econômica e pela eficiência na conservação de componentes nutricionais. Investigar parâmetros cienciométricos relacionados a produção científica de países como os da América do Sul possibilita ampliar sua aplicação em regiões ricas em matérias-primas e que demandam processos de secagem mais acessíveis. Dessa maneira, o objetivo deste estudo foi identificar as áreas de aplicação, os grupos de pesquisa mais influentes e possíveis gargalos nos países sul-americanos relacionados ao uso da tecnologia *RWD* pelo *Methodi Ordinatio* e por análises cienciométricas. Para isso, foi realizada uma busca na plataforma *Web of Science* e os trabalhos selecionados pelo método foram analisados em softwares *Excel 365, VOSviewer (1.6.20)* e *Bibliometrix (Biblioshiny 5.0)*. Os resultados indicaram que o Brasil e a Colômbia são os principais polos de pesquisa e aplicação da *RWD*, com foco na obtenção de pós de frutas e na conservação de componentes bioativos. Como gargalos foram identificados a baixa colaboração entre autores de países diferentes, pouca utilização do método em diferentes matérias-primas como hortaliças, produtos de origem animal, elaboração de filmes comestíveis e embalagens, e a falta de estudos focados na incorporação dos pós a formulações de outros alimentos. Por fim, o estudo possibilitou determinar vias

promissoras para a ampliação do uso da *Refractance Window Drying* na América do Sul.

Palavras–chave: *cast-tape drying; conductive hydro drying*; mapeamento científico; países emergentes; secagem

Abstract: Refractance Window Drying (RWD), also referred to in the literature as Cast-tape Drying (CTD) or Conductive Hydro Drying, is a drying process used to obtain powders, flakes, and films. The method stands out for its technical and economic feasibility, as well as its efficiency in preserving nutritional components. Investigating scientometric parameters related to the scientific production of countries such as those in South America can promote the expansion of its application in regions rich in raw materials and in need of more accessible drying processes. Therefore, the objective of this study was to identify the application areas, the most influential research groups, and possible bottlenecks in South American countries regarding the use of RWD technology through the Methodi Ordinatio and scientometric analyses. A search was carried out on the Web of Science platform, and the selected studies were analyzed using *Excel 365*, *VOSviewer (1.6.20)*, and Bibliometrix (*Biblioshiny 5.0*) softwars. The results indicated that Brazil and Colombia are the main research and application hubs for RWD, with a focus on obtaining fruit powders and preserving bioactive components. Identified bottlenecks include low collaboration among authors from different countries, limited use of the method with other raw materials such as vegetables and animal-based products, little research on the development of edible films and packaging, and a lack of studies focused on incorporating the powders into other food formulations. Finally, the study allowed the identification of promising pathways for expanding the use of Refractance Window Drying in South America.

Keywords: cast-tape drying; conductive hydro drying; drying; emerging countries; scientific mapping

INTRODUÇÃO

A secagem é usada na conservação de alimentos podendo ser aplicada por métodos naturais, como a secagem solar, ou de maneira artificial, em que a água dos alimentos é removida a partir da transferência de calor entre uma fonte de calor artificial e o alimento em equipamentos como as estufas (1). A maioria dos equipamentos utilizados para remover a água, e assim reduzir a atividade de água dos alimentos, empregam altas temperaturas por um longo tempo, o que contribui para a degradação de nutrientes como as vitaminas e os compostos bioativos em geral (1). A liofilização também opera por longos períodos, no entanto, é empregada em alimentos termossensíveis, pois opera em baixa temperatura e pressão (2). Por isso, investigar, entender o uso e as limitações dos métodos para a produção de alimentos desidratados, que sejam eficientes tecnologicamente e mantenham o máximo possível dos compostos bioativos, é essencial.

Um método interessante é o *Refractance Window Drying (RWD)* denominado na literatura também por *Cast-tape Drying* ou *Conductive hydro Drying.* Soluções alimentícias, como as polpas ou purês de vegetais, são espalhados na face superior de um suporte, normalmente filmes de poliéster (*Mylar*) ou fibra de vidro recoberta por teflon, com a face inferior aquecida por água quente na temperatura de até 95 °C ou vapor de água (3,4). A água quente ou o vapor transfere calor por condução, convecção e pequena parte por radiação (<5%). Esse calor passa pelo suporte, e chega até a

solução alimentícia provocando a evaporação da água. A convecção, da água para a superfície do suporte, e a condução, através do suporte até o alimento em contato com ele, atuam como os principais mecanismos de transferência de calor e fornecem a energia necessária para o processo de secagem (3,5). Como o processo é conduzido em baixas temperaturas por um certo tempo, a técnica é eficaz para a preservação de compostos termicamente sensíveis e requer menor gasto energético quando comparado a outros métodos como a secagem por liofilização (5).

Diante desse contexto, a RWD tem sido aplicada para produção de pós, flocos e filmes de diversos alimentos como o morango, tomate e manga (6–8) em diferentes países do mundo, bem como os países da América do Sul. A ampla biodiversidade de frutas e hortaliças com alto potencial para a produção de alimentos desidratados presentes nos países sul-americanos (9), e a crescente demanda por processos térmicos de baixo custo dos países emergentes, que compõem esse continente, são fatores que justificam a realização de uma análise cienciométrica para entender a produção científica sobre a RWD e como tem sido aplicada nos países sul-americanos.

Além disso, investigar métodos de conservação de alimentos com menor gasto energético contribui com Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) número 12, que tem como propósito assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis a partir de ações de apoio a países em desenvolvimento, metas de redução de resíduos, perdas e desperdício de alimentos e o uso eficiente dos recursos naturais (10). Assim, o objetivo do trabalho foi realizar uma análise cienciométrica sobre o uso da técnica *Refractance Window Drying* por pesquisadores dos países da América do Sul, a fim de investigar suas áreas de aplicação, identificar os grupos de pesquisa mais influentes, mapear os principais gargalos e assim definir caminhos para ampliar sua aplicação.

MATERIAL E MÉTODOS

Uma análise bibliométrica para seleção dos artigos relevantes foi realizada de acordo com a *Methodi Ordinatio* descrita por Pagani *et al.* 2017 (11), que classifica os artigos relevantes a partir do seu fator de impacto, número de citações e ano de publicação. As produções foram ranqueadas em ordem decrescente do número *InOrdinatio* calculado pela Equação 1. De acordo com o método, o valor de $\propto$ varia entre 1 e 10 e deve ser atribuído pelos autores, considerando que valores mais próximos de 1 priorizam os artigos mais antigos e valores mais próximos de 10 os mais recentes (11). Os fatores de impacto das revistas foram consultados por meio da ferramenta *Journal Citation Reports* da *Clarivate* e a idade do artigo calculada a partir do ano de busca (2025) e o ano de publicação do artigo.

$$InOrdinatio = JIF + n^{\circ}\ de\ citações + alfa * 10 - alfa * (idade\ do\ artigo) \quad (1)$$

Em que, JIF = fator de impacto da revista, $\propto$ = 8, valor atribuído pelos autores, que priorizou em 80% os artigos mais recentes, Idade do artigo = (ano de busca – ano de publicação do artigo).

A busca dos artigos foi realizada pela plataforma *Web of Science* a partir da combinação das palavras-chave e operadores booleanos *"refractance window OR refractance window drying OR cast-tape drying OR conductive hydro drying"*. Depois, foram aplicados os filtros de países (apenas os países da América do Sul foram selecionados), tipo de publicação (artigos e artigos de revisão) e ano de publicação

(2000 – 2025) resultando em 68 artigos encontrados. As informações necessárias para aplicação do método, como o número de citações, revistas, autores e ano de publicação, foram exportadas para uma planilha no *Excel 365*.

Para seleção, os títulos e resumos dos artigos pré-selecionados foram lidos a fim de alinhá-los ao tema, o que resultou em 62 artigos. Após, o número *InOrdinatio* foi calculado e os artigos ranqueados em ordem decrescente. Como não houve artigos com número *InOrdinatio* negativo, os 62 artigos foram selecionados e utilizados para a análise cienciométrica nos softwares *VOSviewer (1.6.20), Excel 365* e *Bibliometrix* por meio da sua interface gráfica *Biblioshiny (5.0)*. A partir dos softwares utilizados foram realizadas as seguintes análises: gráficos do número de publicações por ano, por país de atuação e por autores, rede de coautoria (mínimo de 1 artigo por autor), nuvem de palavras (50 palavras-chave dos autores) e rede de coocorrência de palavras-chave (ocorrência mínima de 2 palavras). A Figura 1 ilustra a metodologia aplicada.

Figura 1 – Metodologia aplicada
Fonte: Autores, 2025

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Panorama geral de publicações

Após a aplicação do *Methodi Ordinatio*, apenas os artigos e artigos de revisão de pesquisadores dos países da Argentina, Brasil, Chile, Colômbia e Peru foram selecionados. A Figura 2 apresenta o número de artigos publicados, por ano, ao longo dos últimos 25 anos, por pesquisadores desses países.

Figura 2 - Número de publicações ao longo dos últimos 25 anos

Fonte: *Web of Science*, 2025

O ano de 2012 marca o início dos estudos sobre o RWD na América do Sul nas duas últimas décadas e meia, com pausa entre os anos de 2013 e 2014, seguida de uma retomada a partir do ano de 2015. O número de publicações aumentou consideravelmente a partir do ano de 2019 (6 artigos), com queda no ano de 2023. O maior número de publicações foi observado no ano de 2024, sendo 13 artigos, até o presente momento.

Em 2012, na Colômbia, Ochoa-Martínez et al. (2012) investigaram as características da secagem de fatias de manga em duas espessuras (1 mm e 2 mm) por *Refractance Window* (temperatura do banho-maria em 92 °C) e compararam os resultados da cinética de secagem, atividade de água e mudança de cor com os resultados de fatias secas em secador de bandeja (temperatura de 62 °C e velocidade de ar de 0,52 m/s). Os resultados demonstraram que em 1 h a umidade foi de 0,013 kg/kg e 0,048 kg/kg (espessuras de 1 mm e 2 mm respectivamente) para as fatias secas por RWD e de 0,966 kg/kg e 3,614 kg/kg (espessuras de 1 mm e 2 mm respectivamente) para as fatias secas em secador de bandeja por 4 h. A atividade de água para as fatias secas em RWD também foi menor, com valores próximos a 0,5 (12)

O último artigo publicado em 2025, até o início da análise cienciométrica realizada, foi o estudo colombiano de Quintero et al. (2025), que produziram pó de polpa de cacau por RWD (temperaturas de 70 °C, 80 °C e 90 °C e espessuras de 1 mm, 2 mm e 3 mm) e o incorporaram como adoçante (substituição de 100%, 75% e 50% do açúcar) em barras de chocolate. Os pós apresentaram alta retenção de compostos fenólicos (79,4% a 80,5%) e de vitamina C (73,5% a 75,5%) e as barras de chocolate com substituição de até 50% do açúcar foram bem aceitas por 115 consumidores (13), o que aponta o potencial de aplicação dessa técnica de secagem para o melhoramento de formulações.

A Figura 3 mostra o número de publicações, por pesquisadores, de acordo com o país de atuação, entre os anos de 2000 e 2025.

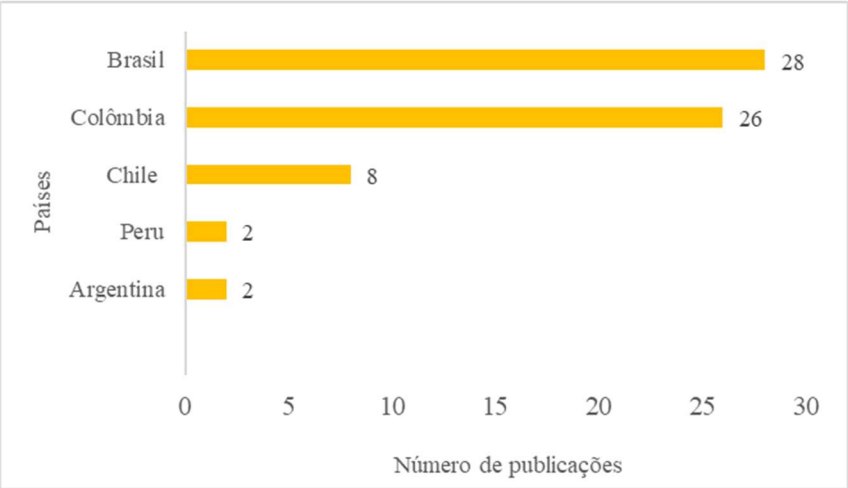


Figura 3 – Número de publicações por pesquisadores de acordo com seu país de atuação
Fonte: *Web of Science*, 2025

O Brasil é o país com mais publicações entre os países da América do Sul, com 28 artigos, em seguida a Colômbia com 26 artigos. Juntos, correspondem a mais de 80% dos trabalhos publicados no continente, o que indica maior difusão da técnica nesses dois países. O Chile aparece em terceira posição com 8 trabalhos, enquanto o Peru e Argentina em quarta e quinta posição respectivamente com 2 artigos. A disparidade entre os números demonstra uma maior concentração do uso dessa tecnologia no Brasil e Colômbia e a baixa produção no Chile, Peru e Argentina revela pouca disseminação da tecnologia nessas regiões, apesar da diversidade agrícola existente.

Grupos de pesquisa e autores mais relevantes

O Quadro 1 apresenta os 5 trabalhos mais relevantes de acordo com o *Methodi Ordinatio* sobre a *Refractance Window Drying* nos países da América do Sul.

Quadro 1 – *Ranking* dos trabalhos mais relevantes segundo o *Methodi Ordinatio*

Ranking	**Título**	**Autores**	**País**	***InOrdinatio***
1	Production of mango powder by Spray Drying and Cast-tape Drying	Zotarelli *et al* (2017)	Brasil	128,5
2	Drying kinetics of blueberry pulp and mass transfer parameters: Effect of hot air and Refractance Window Drying at different temperatures	Rurush *et al* (2022)	Peru	95,3

3	Drying characteristics of mango slices using the Refractance Window™ technique	Ochoa-Martínez *et al* (2012)	Colômbia	90,3
4	Improving the drying efficiency, quality attributes, and lycopene bioaccessibility (in vitro) of tomato puree using Refractance-Window Hybrid Drying	Gaviria-Lozano *et al* (2025)	Colômbia	87,3
5	Design and development of a Refractance Window Drying system coupled with vacuum: Production of bioactive apple pomace powder	Retamal *et al* (2025)	Chile	86

Fonte: Autores, 2025

Os cinco melhores trabalhos de acordo com o *Methodi Ordinatio* pertencem a Colômbia (2 artigos), Brasil (1 artigo e o mais relevante), Peru (1 artigo) e Chile (1 artigo), o que destaca mais uma vez a relevância dos estudos efetuados por pesquisadores do Brasil e da Colômbia.

De acordo ao apresentado no Quadro 1, Zotarelli et al. (2017) tem sido o trabalho de maior número *InOrdinatio* e por isso, considerou-se o estudo mais relevante. Os autores brasileiros investigaram a produção de pó de manga por atomização e por C*ast-Tape Drying* (CTD) (temperatura da água de 95 °C), sem e com adição de 6% de maltodextrina. A secagem por CTD produziu pós de maiores densidades aparentes (0,8 g/cm^3 - sem maltodextrina e 0,7 g/cm^3 - com maltodextrina) e menor porosidade (38% - sem maltodextrina e 55% - com maltodextrina). Além disso, a partir dos diagramas de estado, os pós de manga produzidos por atomização apresentaram estabilidade ligeiramente menor do que aqueles produzidos por CTD. Dessa maneira, os autores determinaram que o processo permite a produção de pós a partir da polpa da fruta inteira, sem a adição de maltodextrina (14)

Na posição 2 do *ranking* encontra-se o trabalho dos pesquisadores peruanos Rurush et al. (2022), que estudaram a cinética de secagem da polpa de mirtilo por RWD e ar quente (HA) em temperaturas de 55 °C, 65 °C, 75°C, 85 °C e 95 °C e espessura de 2 mm. As curvas da cinética de secagem por RWD mostraram maior decaimento, em que, a 95 °C em 10 min de processo, os valores de umidade eram de aproximadamente 0,35 g/g para a polpa seca por RWD e de 0,60 g/g para HA. Os resultados revelaram que o RWD se mostrou mais eficaz para secagem de polpa de mirtilo devido ao menor tempo de secagem sendo 16 min para atingir umidade final, usando a temperatura do suporte de 95 °C. Enquanto, para a secagem por ar quente, sob as mesmas condições, foi de 28 min (15).

O artigo pioneiro de Ochoa-Martínez et al. (2012) encontra-se na terceira posição do *ranking* e abordou sobre as características da secagem de fatias de

manga por (12). Na quarta posição encontra-se o trabalho dos pesquisadores colombianos de autoria de Gaviria-Lozano et al. (2025), que reportou sobre o uso do *Refractance Window Drying* assistido por infravermelho (RW+IR - 6 lâmpadas infravermelhas de 250 W e 120 V acopladas entre 10 a 20 cm de distância do *Mylar*), vácuo (RW+V - bomba de vácuo acoplada ao sistema e aplicadas as pressões de vácuo de 680 mbar, 713 mbar e 768 mbar) e ar forçado (RW+FA - dois ventiladores acoplados com velocidade média do ar de 1 m/s e temperaturas de 20 °C e 45 °C) para melhorar a eficiência de secagem de purê de tomate, seus atributos de qualidade e a bioacessibilidade *in vitro* do licopeno. A temperatura da água utilizada no processo foi de 60 °C e 80 °C e a espessura do purê de 4 mm. Os resultados demonstraram que o pó obtido por RWD+V (60 °C, 713 mbar) apresentou a menor higroscopicidade (19,48%) e o maior teor de licopeno (98,97 mg/100g), o RW+IR (80 °C, 10 cm) apresentou menor atividade de água (0,17), maior teor de polifenóis (80 °C, 20 cm – 4,18 mg GA/g), maior atividade antioxidante (132,96 µmol TEAC/g – ORAC e 15,57 µmol TEAC/g – DPPH) e maior bioacessibilidade de licopeno (80 °C, 15 cm – 34,14%). De forma geral, o RWD assistido por infravermelho (80 °C, 15 cm) produziu pós de alta qualidade bioativa e que a união das tecnologias foi promissora para o melhoramento dos processos de secagem (16)

O artigo produzido por pesquisadores do Chile – Retamal et al. (2025), encontra-se na 5ª posição do *ranking.* Esses autores desenvolveram um sistema de secagem por *Refractance Window* acoplado ao vácuo (VRW) para produção de pó bioativo de bagaço de maçã. As secagens por VRW, RW e liofilização (FD) foram realizadas. As temperaturas de secagem foram de 20 °C (FD) 65 °C, 75 °C e 85 °C (VRW e RW), as pressões de 0,15 bar, 0,20 bar, 0,45 bar (VRW e RW) e 63 Pa (FD) e espessura de 3 mm (VRW e RW). Os parâmetros como o tempo de secagem, atividade de água (aw), teor de umidade e teor de polifenóis foram comparados entre os três métodos de secagem. Os resultados indicaram que a RW comparada a VRW a 75 °C e 0,45 bar apresentaram a maior redução do tempo de secagem, de 81,5 para 61,5 min. A atividade de água e umidade foram semelhantes, com valores para RW entre 0,355 e 0,365 (aw) e 0,058 g/g e 0,072 g/g de umidade, e para VRW entre 0,326 e 0,380 (aw) e 0,046 g/g e 0,072 g/g de umidade. Com relação aos teores de polifenóis, o maior valor foi de 5,77 mg GAE/g por VRW para as condições de temperatura de 65 °C e pressão de 0,45 bar e não diferiu significativamente ao valor obtido por FD (aproximadamente 6,20 mg GAE/g) (17).

A Figura 4 apresenta o número de publicações dos 10 autores mais produtivos entre os anos de 2000 e 2025.

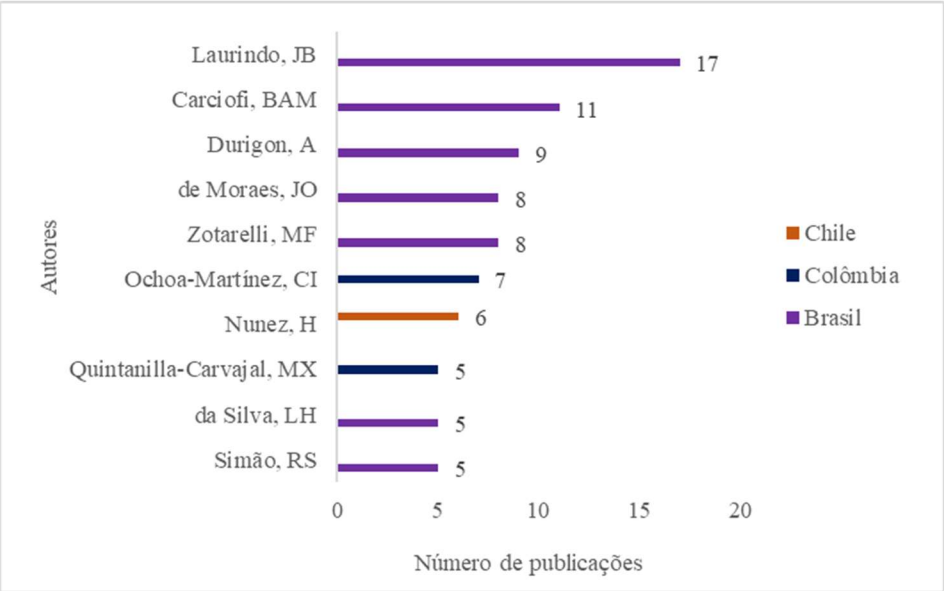


Figura 4 – Número de publicações por autor

Fonte: *Web of Science*, 2025

Como apresentado na Figura 4, os 7 dos 10 autores mais produtivos são brasileiros, 2 são colombianos e apenas 1 é chileno, o que confirma a forte influência dos grupos de pesquisa do Brasil e a boa produção da Colômbia, bem como apresentado na Figuras 3 e na Quadro 1. Esses números, juntos aos dados anteriores, indicam que a tecnologia é bem difundida nesses dois países e a ausência de autores da Argentina e do Peru pode ser explicada pela baixa produção de artigos relacionados ao tema, uma vez que apenas foram publicados 4 artigos (2 de cada país) dos 62 artigos selecionados para a análise cienciométrica.

A Figura 5 apresenta a rede de coautoria entre os autores da América do Sul. Os autores foram separados em 19 *clusters,* diferenciados por cores, e os maiores nós indicam os pesquisadores de maior relevância. A partir da rede de coautoria, observa-se Laurindo, JB como o principal autor do tema entre os pesquisadores mais produtivos, sendo o responsável por integrar outros autores como Carciofi, BAM, Durigon, A e Zotarelli, MF. A rede mostrou que esse grupo de pesquisa é formado majoritariamente por brasileiros e indica uma colaboração direta, ativa e consolidada sobre a RWD no país. Os colombianos Ochoa-Martínez, CI e Quintanilla-Carvajal, MX apareceram em destaque em *clusters* diferentes, porém sem ligação, o que pode indicar que não há colaboração direta entre os autores, apesar de compatriotas. Outro autor, entre os autores mais produtivos, que também está em destaque na rede é Nunez, H, o que o sugere como o autor mais relevante entre os autores chilenos.

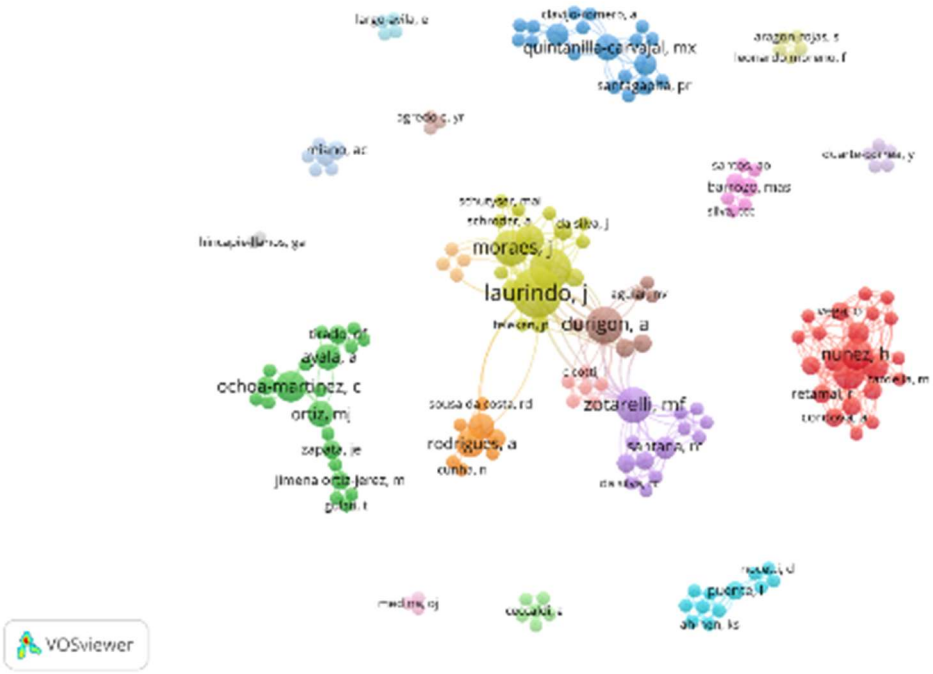


Figura 5 – Rede de coautoria

Fonte: *Web of Science*, 2025

A análise de coautoria sugere que, embora existam grupos de pesquisa consolidados espalhados pelos países sul-americanos, ainda existe a necessidade de colaboração direta entre os autores, o que revela como lacuna a necessidade de internacionalização dos estudos entre os países da América do Sul.

Principais áreas de aplicação do *Refractance Window Drying* na América do Sul

A nuvem de palavras a seguir (Figura 6) demonstra as 50 palavras-chave mais frequentes entre os artigos sobre *Refractance Window Drying* publicados pelos países da América do Sul.

Figura 6 – Nuvem de Palavras

Fonte: *Web of Science*, 2025

De acordo com as palavras em evidência, destacam-se como principais áreas de aplicação da *Refractance Window Drying* na América do Sul a obtenção de pós de polpas de frutas (como a manga, goiaba e tomate). Palavras como cinética de secagem, propriedades físicas e termodinâmicas dos produtos obtidos, juntamente com compostos bioativos indicam o tema central dos estudos.

A partir da Figura 6, observam-se os termos *"refractance window", "drying", "powder", "drying kinetics"* e *"dehydration"* em evidência como as palavras-chave mais utilizadas pelos autores. Isso aponta o estudo da desidratação de produtos para a obtenção de pós como o foco principal da aplicação dessa técnica nos países da América do Sul. Os termos *"cast-tape drying"* (18–21) e *"conductive hydro-drying"* (22–24) aparecem como os principais sinônimos adotados pelos diferentes grupos de pesquisa. Palavras como *"fruit pulp"* e *"pulp"* indicam as polpas de frutas como os alimentos mais utilizados pelos sul-americanos para a aplicação da RWD (25,26). Somado a isso, a ocorrência de termos como *"sensory"*, *"bioactive compounds"* e *"color"* sugerem a eficiência da técnica para preservação de compostos bioativos e da qualidade sensorial dos pós obtidos (27–29), bem como a ampla utilização do método para a produção de alimentos ricos nutricionalmente. Além disso, a palavra-chave *"energy consumption"* pode indicar que a eficiência energética é uma característica desse método de secagem, e é relevante para os estudos desenvolvidos nos países do continente.

A Figura 8 mostra a rede de coocorrência das palavras-chave e demonstra como as áreas de aplicação estão relacionadas.

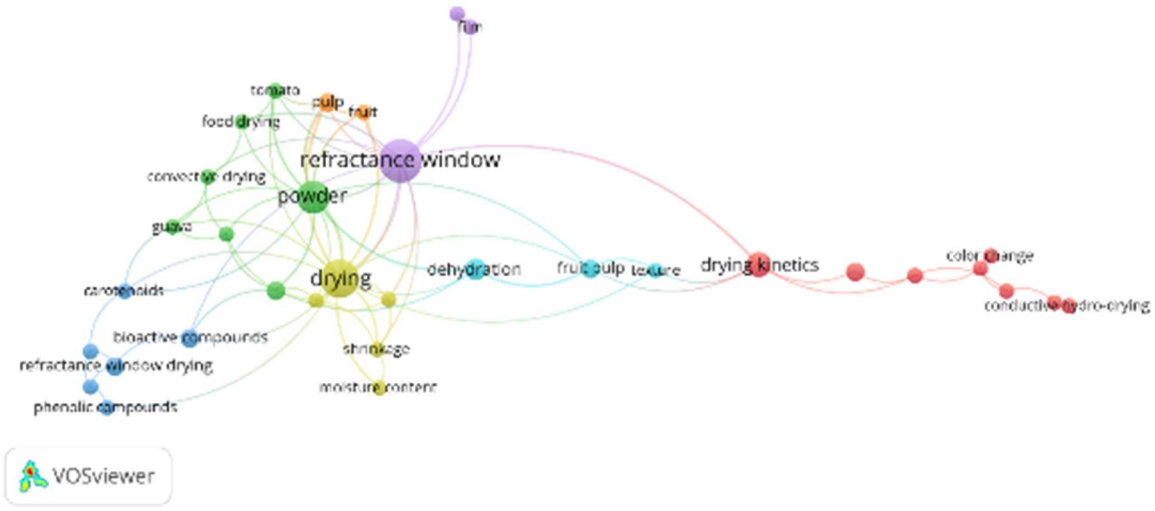


Figura 7 – Rede de coocorrência de palavras-chave

Fonte: *Web of Science*, 2025

As palavras-chave foram agrupadas em sete *clusters* representados por cores, em que os nós maiores representam as palavras de maior ocorrência do grupo e a intensidade da linha demonstra o quanto estão relacionadas. Dentre os principais, estão o *cluster* roxo, verde e amarelo que compreendem a tecnologia estudada, os principais alimentos utilizados e seus produtos elaborados, e os efeitos causados pela RWD, respectivamente.

A análise de coocorrência de palavras-chave revelou que o foco de estudo dos países da América do Sul está em investigar a relação entre a aplicação da tecnologia e a preservação de compostos bioativos, especialmente em frutas sensíveis a tratamentos térmicos. A ocorrência do termo *"drying kinetics"* indica o interesse dos países sul-americanos em compreender a velocidade de secagem, bem como a capacidade evaporativa do processo e a transferência de calor e de massa envolvidos no processo, e compará-la aos processos de secagem convencionais existentes (22,30,31).

Apesar disso, observa-se uma concentração dos estudos na aplicação da técnica em frutas e na retenção de componentes bioativos. Isso demonstra que a aplicação da tecnologia pode ser pouco explorada em outros vegetais além das frutas, assim como os alimentos de origem animal igualmente importantes para indústria de alimentos. Outro gargalo encontrado foi a baixa abrangência de trabalhos relacionados a incorporação dos pós em formulações e a produção de filmes comestíveis ou para embalagens.

CONCLUSÕES

As análises cienciométricas aplicadas às produções científicas sobre *Refractance Window Drying* na América do Sul possibilitaram identificar como principais áreas de aplicação da técnica a obtenção de pós de frutas como a goiaba, manga e tomate de suas polpas ou purês, bem como entender o processo, especialmente com relação ao efeito causado nos compostos bioativos. Outra observação é que o método de secagem tem maior difusão no Brasil e na Colômbia, com ênfase para os grupos de pesquisa brasileiros liderados por Laurindo, JB, sendo o pesquisador mais influente do continente. Como possível gargalo, foi identificado a baixa internacionalização entre os autores, além da pouca aplicação da técnica de secagem em hortaliças e alimentos de origem animal, a pouca ocorrência de estudos sobre a incorporação dos pós em formulações e a utilização do método para elaboração de filmes comestíveis e embalagens. Dessa forma, investir em estudos que abrangem diferentes matérias-primas agrícolas de origem vegetal e animal, fortalecer as redes internacionais entre os autores e aprimorar o estudo da incorporação dos pós obtidos em outras matrizes alimentares são caminhos que podem ampliar a aplicação da *Refractance Window Drying* na América do Sul.

REFERÊNCIAS

(1) Fernandes L, Tavares PB. A review on solar drying devices: heat transfer, air movement and type of chambers. *Solar*. 2024;4(1):15-42.

(2) Feng S, Bi J, Laaksonen T, Laurén P, Yi J. Texture of freeze-dried intact and restructured fruits: formation mechanisms and control technologies. *Trends Food Sci Technol*. 2024;143:104267.

(3) Nindo CI, Tang J. Refractance window dehydration technology: a novel contact drying method. *Drying Technol*. 2007;25(1):37-48.

(4) Cichella Frabetti AC, Durigon A, Laurindo JB. Effect of process variables on the drying of guava pulp by cast-tape drying. *LWT Food Sci Technol*. 2018;96:620-6.

(5) Waghmare R. Refractance window drying: a cohort review on quality characteristics. *Trends Food Sci Technol*. 2021;110:652-62.

(6) Cichella Frabetti AC, de Moraes JO, Porto AS, Simão RS, Laurindo JB. Strawberry-hydrocolloids dried by continuous cast-tape drying to produce leather and powder. *Food Hydrocoll*. 2021;121:107041.

(7) Durigon A, de Souza PG, Carciofi BAM, Laurindo JB. Cast-tape drying of tomato juice for the production of powdered tomato. *Food Bioprod Process*. 2016;100:145-55.

(8) Zotarelli MF, da Silva VM, Durigon A, Hubinger MD, Laurindo JB. Production of mango powder by spray drying and cast-tape drying. *Powder Technol*. 2017;305:447-54.

(9) Dong J, Gruda N, Li X, Cai Z, Zhang L, Duan Z. Global vegetable supply towards sustainable food production and a healthy diet. *J Clean Prod*. 2022;369.

(10) United Nations Brazil. Sustainable development goal 12: consumo e produção responsáveis. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/12. Acesso em: 16 jul. 2025.

(11) Pagani RN, Kovaleski JL, Resende LM. Methodi ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. *Scientometrics*. 2015;105(3):2109-35.

(12) Ochoa-Martinez CI, Quintero PT, Ayala AA, Ortiz MJ. Drying characteristics of mango slices using the Refractance Window™ technique. *J Food Eng*. 2012;109(1):69-75.

(13) Quintero I, Ceccaldi A, Martinez H, Santander M, Rodriguez J, Escobar S. Dry cacao pulp in chocolate bars: a sustainable, nutrient-rich sweetener with enhanced sensory quality through refractance windows drying. *Appl Food Res*. 2025;5(1).

(14) Zotarelli MF, da Silva VM, Durigon A, Hubinger MD, Laurindo JB. Production of mango powder by spray drying and cast-tape drying. *Powder Technol*. 2017;305:447-54.

(15) Rurush E, Alvarado M, Palacios P, Flores Y, Rojas ML, Miano AC. Drying kinetics of blueberry pulp and mass transfer parameters: effect of hot air and refractance window drying at different temperatures. *J Food Eng*. 2022;320.

(16) Gaviria-Lozano AC, Castro AM, Diaz LE, Quintanilla-Carvajal MX, Moreno FL. Improving the drying efficiency, quality attributes, and lycopene bioaccessibility (in vitro) of tomato puree using refractance-window hybrid drying. *Innov Food Sci Emerg Technol*. 2025;102.

(17) Retamal R, Nunez H, Ramirez C. Design and development of a refractance window drying system coupled with vacuum: production of bioactive apple pomace powder. *LWT Food Sci Technol*. 2025;224.

(18) Parisotto EIB, Teleken JT, Laurindo JB, Carciofi BAM. Mathematical modeling and experimental assessment of the cast-tape drying. *Drying Technol*. 2020;38(8):1024-35.

(19) Simao RS, de Moraes JO, de Souza PG, Carciofi BAM, Laurindo JB. Production of mango leathers by cast-tape drying: product characteristics and sensory evaluation. *LWT Food Sci Technol*. 2019;99:445-52.

(20) Freitas GM, Cicotti L, Constant PBL, Zotarelli MF, de Sa JPN, Mazzutti S, et al. Beetroot microgreens (Beta vulgaris) powder obtained by cast-tape drying and freeze-drying. *J Food Process Eng*. 2024;47(12).

(21) da Silva J, Monteiro RL, de Moraes JO, da Silva AFV, Carciofi BAM, Laurindo JB. Physico-chemical and rheological properties of cast-tape dried sweet corn powder as affected by thermal treatment of sweet corn. *J Food Meas Charact*. 2025;19(2):1089-102.

(22) Ortiz-Jerez MJ, Serna YX, Zapata JE. Kinetics of conductive hydro-drying of pumpkin (Cucurbita moschata) pulp. *Heliyon*. 2024;10(17).

(23) Munera-Tangarife RD, Solarte-Rodriguez E, Velez-Pasos C, Ochoa-Martinez CI. Factors affecting the time and process of CMC drying using refractance window or conductive hydro-drying. *Gels*. 2021;7(4).

(24) Juri-Morales G, Ochoa-Martinez CI, Velez-Pasos C. Conductive hydro-drying of cayenne chili paste: effects of intermittency, temperature and salt concentration on product quality and energy efficiency. *LWT Food Sci Technol*. 2024;203.

(25) Simao RS, de Moraes JO, Zhang L, Schroder A, Carciofi BAM, Schutyser MAI, et al. Biopolymers to overcome challenges in acai pulp drying: processing and powder quality evaluation. *Powder Technol*. 2024;435.

(26) Puente L, Vega-Galvez A, Ah-Hen KS, Rodriguez A, Pasten A, Poblete J, et al. Refractance window drying of goldenberry (Physalis peruviana L.) pulp: a comparison of quality characteristics with respect to other drying techniques. *LWT Food Sci Technol*. 2020;131.

(27) Lopes Santos SJ, Ferreira Canto HK, da Silva LH, da Cruz Rodrigues AM. Characterization and properties of purple yam (Dioscorea trifida) powder obtained by refractance window drying. *Drying Technol*. 2022;40(6):1103-13.

(28) Frabetti AC, Durigon A, Laurindo J, de Moraes JO, Carciofi B. Physicochemical characterization and quantification of bioactive compounds of guava powder produced by cast-tape drying. *Food Sci Technol*. 2022;42.

(29) Hernandez Y, Ramirez C, Moreno J, Nunez H, Vega O, Almonacid S, et al. Effect of refractance window on dehydration of osmotically pretreated apple slices: color and texture evaluation. *J Food Process Eng*. 2020;43(2).

(30) Ayala-Aponte AA, Cardenas-Nieto JD, Tirado DF. Aloe vera gel drying by Refractance Window®: drying kinetics and high-quality retention. *Foods*. 2021;10(7).

(31) Durigon A, Berte Parisotto EI, Carciofi BAM, Laurindo JB. Heat transfer and drying kinetics of tomato pulp processed by cast-tape drying. *Drying Technol*. 2018;36(2):160-8.

PROTAGONISMO JUVENIL EM AÇÕES DE SUSTENTABILIDADE: UMA PARCERIA ENTRE O ENSINO SUPERIOR E O ENSINO MÉDIO NA CIDADE DE FEIRA DE SANTANA-BA

YOUTH PROTAGONISM IN SUSTAINABILITY ACTIONS: A PARTNERSHIP BETWEEN HIGHER EDUCATION AND SECONDARY EDUCATION IN THE CITY OF FEIRA DE SANTANA-BA

DOI: 10.65747/conali2025v3c33

Débora Sacramento Nonato Conceição[1]; Silvana Santos Gonçalves[1]; Graziela Pereira de Jesus Alixandre[2]; Bruna Melo Souza Santos[2]; Sarah Patrícia de Oliveira Rios[3]; Vanessa Lúcia Carneiro[3].

[1]Estudante do Curso de Engenharia de Alimentos- UEFS; E-mail: deboras.nonato@gmail.com

[2]Docente do Colégio Estadual Odorico Tavares- CEOT;

[3]Docente/pesquisadora do Depto de Tecnologia – DTEC –UEFS.

Resumo: A sustentabilidade envolve ações que buscam garantir, a esta e às novas gerações, condições sociais, econômicas e ambientais dignas. Os 17 objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) estipulam metas que contribuem com o seu alcance. Por outro lado, o ensino público superior, através do tripé ensino-pesquisa-extensão, constrói parcerias que podem colaborar com essa proposta. Este artigo tem como objetivo analisar a cooperação entre o projeto de extensão JeniPAPO Podcast, vinculado ao curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), e o Colégio Estadual Odorico Tavares, em Feira de Santana, Bahia. A parceria, desenvolvida entre 2023 e 2024, envolveu a produção de um episódio de podcast com estudantes do colégio e a participação da equipe do JeniPAPO em eventos escolares sobre sustentabilidade e coleta seletiva. A metodologia usada foi o planejamento, a divulgação, a execução, a participação estudantil e a avaliação das ações de sustentabilidade, no período mencionado. A iniciativa promoveu a integração entre universidade e escola, estimulando o protagonismo juvenil e a conscientização ambiental. As principais conclusões dizem respeito à contribuição em algumas metas previstas nos ODS, à responsabilidade da Engenharia de Alimentos na produção industrial sustentável e à parceria JeniPAPO-Coleta Seletiva como ações contínuas necessárias.

Palavras–chave: extensão universitária; instituições de ensino; parcerias; protagonismo juvenil; sustentabilidade.

Abstract: Sustainability involves actions that seek to guarantee decent social, economic, and environmental conditions for this and future generations. The 17 Sustainable Development Goals (SDGs) establish targets that contribute to their achievement. Furthermore, public higher education, through the teaching-research-

extension tripod, builds partnerships that can contribute to this goal. This article analyzes the cooperation between the JeniPAPO Podcast extension project, linked to the Food Engineering program at the State University of Feira de Santana (UEFS), and the Odorico Tavares State School in Feira de Santana, Bahia. The partnership, developed between 2023 and 2024, involved the production of a podcast episode with school students and the JeniPAPO team's participation in school events on sustainability and selective waste collection. The methodology used included planning, dissemination, implementation, student participation, and evaluation of sustainability initiatives during the aforementioned period. The initiative fostered integration between universities and schools, encouraging youth leadership and environmental awareness. The main conclusions concern the contribution to some SDG targets, the responsibility of Food Engineering in sustainable industrial production, and the JeniPAPO-Coleta Seletiva partnership as necessary ongoing actions.

Keywords: educational institutions; partnerships; sustainability; university extension; youth leadership.

INTRODUÇÃO

Diariamente observam-se notícias sobre desastres ambientais (1), com causas majoritariamente decorrentes da ação humana através de descartes irregulares de resíduos, construções e invasões de espaços inadequados, incêndios florestais, exploração desenfreada de recursos naturais, enfim, ações que trazem consequências graves ou irreparáveis não só para a água, o ar, o solo, o clima assim como para os seres vivos, entre eles, o próprio homem.

O debate na comunidade científica sobre o aquecimento global (2) e suas consequências ao meio ambiente ativou mais um sinal de alerta frente aos desastres “naturais”: enchentes, ondas de calor e frios exageradas, elevação do nível do mar, ameaçando causar destruição em cidades litorâneas (3) *etc*. O próprio planeta Terra vive sob ameaça constante da ação humana. Nesse contexto, 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) - ou Objetivos Globais - foram adotados pelos países-membros da Organização das Nações Unidas (ONU), em 2015, como um apelo universal a ações para proteger o planeta, erradicar a pobreza, combater desigualdades e injustiça, ou seja, ações para se garantir que até 2030 todas as pessoas desfrutem de paz e prosperidade (4).

O Brasil, como país-membro da ONU, busca desenvolver ações que alcancem os ODS. No entanto, o documento que mostra a evolução do Brasil no desenvolvimento de metas para alcançar cada um dos 17 ODS no período de 2016 a 2022 (RNV-Relatório Nacional Voluntário) (5), apresentado à ONU em julho de 2024, demonstrou um quadro nada animador: “das 169 metas dos ODS, apenas 14 (8,2%) foram plenamente cumpridas; enquanto 35 (20,7%) apresentaram uma evolução positiva; 26 metas (15,4%) não mostraram nenhum progresso, e 23 (13,6%) sofreram retrocessos. Já 71 metas (42%) não puderam ser adequadamente avaliadas devido à falta de dados disponíveis ou a irregularidades nas séries de dados coletados.”

Considerando os ODS, os direitos fundamentais e sociais garantidos pela Constituição Federal de 1988 (CF/1988), o Estatuto da Juventude (Lei Federal 12.852/2013), o Estatuto da Criança e do Adolescente (Lei 8.069/1990), a Lei Ambiental (Lei 9.795/1999), a Política de Educação Ambiental do Estado da Bahia (Lei 12056/2011), o Decreto 19.083/2019 (que regulamenta a Lei 12056/2011), o Plano Nacional da Educação (Lei 13.005/2014, válido até dezembro de 2025), a Resolução

CNE/CES nº 7/2018 (diretrizes para a extensão universitária), e ainda as responsabilidades da educação em todas as suas dimensões, é que destacamos a indissociabilidade entre o ensino, a pesquisa e a extensão como pilares do ensino superior e cada vez mais presentes no ensino médio, onde se concentra boa parte da juventude brasileira entre 15 e 29 anos. A partir das ações de extensão, é possível articular o conhecimento científico em conjunto com as necessidades da sociedade e, dessa forma, respaldadas por valores democráticos e igualdade de direitos, tais ações são capazes de promover o desenvolvimento social local (6).

Se, em 2023, foram registradas 7,7 milhões de matrículas (7) no ensino médio e, no ensino superior, o número de matrículas chegou a mais de 9,9 milhões (8), quando somadas essas matrículas alcançam quase 18 milhões, ou seja, um contingente majoritariamente de jovens a ser desenvolvido em todo o seu potencial humano, social, econômico em seus mais diversos territórios e comunidades, dando-os oportunidades e esperança, transformando-os em cidadãos e cidadãs cientes de seus direitos e deveres.

Encontram-se, nesses espaços de ensino, diversas ações que visam desenvolver a cidadania, que preveem o envolvimento desses jovens em projetos dos mais diversos campos de conhecimento, cada vez mais protagonizados por eles (9). São projetos que desenvolvem a sustentabilidade, a coleta seletiva, o consumo consciente de recursos, o desenvolvimento de novas tecnologias, o cuidado com a saúde *etc*.

No ensino superior, por exemplo, projetos e programas de extensão buscam estabelecer parcerias com outras instituições públicas ou privadas, cujos resultados inevitavelmente desenvolvem capacidades técnicas, cognitivas, sociais não apenas dos e das estudantes, mas, na verdade, da equipe envolvida, e que trazem impactos muitas vezes imensuráveis à sociedade ou à comunidade direta ou indiretamente envolvida.

As possibilidades de interação e disseminação do conhecimento são imensas e as instituições de ensino possuem enorme responsabilidade em o fazer de forma qualificada. Com a pandemia da covid-19 e o uso das tecnologias de informação e comunicação (TIC), através das redes sociais (*Whatsapp, Instagram, Facebook etc*), o que se viu foi um *boom* de conteúdo na *internet,* muitas vezes desprovidos de verdades e de cunho científico, uma disseminação desenfreada de *fake news*. Mas também surgiram muitos canais confiáveis e gratuitos de acesso ao conhecimento através do *youtube*, do *podcast*. O Projeto de Extensão JeniPAPO Podcast (@jenipapopodcast) (10) da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS) e o Projeto de Coleta Seletiva no Colégio Estadual Odorico Tavares (CEOT) (@ceotfsa) fazem uso dessas ferramentas e construíram uma parceria que desenvolve ações de sustentabilidade com embasamento científico qualificado.

O projeto de extensão JeniPAPO Podcast, iniciado em 2020, desenvolvido por estudantes e professoras do curso de Engenharia de Alimentos da UEFS em um momento de isolamento social determinado pela pandemia de covid-19, promoveu, para a comunidade interna e externa à UEFS, conteúdos sobre Ciência, Tecnologia e Engenharia de Alimentos na forma de arquivos de áudio divulgados em plataformas de transmissão (*podcasts*). O JeniPAPO é um *podcast* criado com o intuito de divulgar o curso de Engenharia de Alimentos, oferecendo a seus e suas ouvintes, a estudantes e docentes, aos amantes do setor alimentício uma plataforma para discutir Ciência, Tecnologia e Engenharia de Alimentos de maneira descontraída. Passado o isolamento social, o JeniPAPO buscou expandir suas ações extensionistas estabelecendo

parcerias, inicialmente com o Colégio Estadual Odorico Tavares, onde o corpo docente idealizou um projeto voltado à sustentabilidade.

O Projeto Coleta Seletiva no CEOT é um exemplo de iniciativa da comunidade escolar que colabora com a indústria em suas ações de sustentabilidade. Idealizado em 2022 pelas professoras da área de Ciências Exatas e Naturais (Matemática, Física, Química e Biologia) e com apoio da comunidade escolar, a cada ano vem fortalecendo suas ações contando com diversos parceiros externos. Na fala de Bruna Santos (2023): “Esse projeto, ele nasceu de uma inquietação em ver que o espaço escolar pode e deve ser usado para a conscientização de que o ser humano é um agente transformador de suas atitudes e responsável também pela melhoria da qualidade de vida e do meio ambiente. Pensando nessa proposta e no desperdício de materiais que podem ser reaproveitados, que nasceu esse projeto. O projeto iniciou ano passado com a coleta de óleo usado” (11).

Vale salientar que, muitas vezes incentivados por premiações, esses projetos desenvolvidos por colégios colaboram com desenvolvimento do país, trazem soluções a problemas comunitários, como aconteceu na Feira Brasileira de Ciências e Engenharia (Febrace) de 2025 - considerada a maior feira de ciências do Brasil - onde dois projetos, desenvolvidos por estudantes da rede estadual de ensino da Bahia foram premiados: um da cidade de Serrinha intitulado “Biocimento: *Precast* de Papel e Fibra de Coco para Pavimentação Intertravada de Calçadas” e outro da cidade de Caculé intitulado “Do Resíduo ao Reuso: Tratamento dos Efluentes do Vinhoto para a Fertirrigação e Uso como Biofertilizante", ambos colaborando com o tema sobre a sustentabilidade (12).

Exemplos de trabalhos (premiados ou não) desenvolvidos em instituições de ensino, com contribuição ao alcance dos ODS, não faltam. É fato que as premiações são estímulos, mas é necessário muito mais, como vimos no RNV de 2024, o Brasil está longe de atender as metas previstas em cada ODS.

A parceria UEFS-CEOT nasceu com o objetivo de aproximar os estudantes do ensino público médio ao curso de Engenharia de Alimentos da UEFS, abordando a sustentabilidade e sua relação com a produção de alimentos. A parceria também reflete o interesse do CEOT em implementar a coleta seletiva dentro da instituição, um projeto que já estava sendo trabalhado pela escola. A união entre as duas instituições resultou em uma série de ações que promovem a educação ambiental e refletem sobre o desenvolvimento sustentável, principalmente no contexto da produção de alimentos e da sustentabilidade no setor industrial.

Dessa forma, o intuito foi, através do Projeto de Extensão JeniPAPO Podcast e do Projeto Coleta Seletiva, estabelecer uma parceria onde os estudantes do ensino superior e médio protagonizassem e disseminassem ações de sustentabilidade tendo como referência os ODS, sob a orientação e supervisão de seus e suas docentes. Como objetivos secundários desta cooperação, destacam-se divulgar e fortalecer os cursos da UEFS, especialmente o de Engenharia de Alimentos; estimular jovens do ensino médio a cursarem o ensino superior; inspirar jovens do ensino superior a valorizarem a extensão como um meio de formação profissional-cidadã.

É urgente incentivar o protagonismo da juventude em ações de sustentabilidade, de forma ativa, propositiva, criativa ou engajada, exigir políticas públicas de impacto mais amplo e eficaz visando a construção de um futuro mais sustentável, tanto em nível local quanto global. É urgente unir forças, estabelecer parcerias, agir... Pela própria

natureza das instituições de ensino, há que se promover essa integração, especialmente entre os níveis superior e médio, e disseminar os resultados dessa integração. A iniciativa por estabelecer parcerias é de todos, no entanto, o chamado tripé universitário ensino-pesquisa-extensão exige do ensino superior que o mesmo as busque, que esteja atento aos problemas e demandas de comunidades externas, de modo a contribuir com o desenvolvimento sócio-econômico-ambiental através da ciência e da troca de saberes.

Sendo assim, o objetivo deste artigo é analisar a colaboração entre o projeto de extensão JeniPAPO Podcast e o Projeto Coleta Seletiva a partir das ações realizadas nos anos de 2023 e 2024.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho adota uma abordagem qualitativa caracterizada como um relato de experiência de ações de sustentabilidade desenvolvidas em parceria entre o Projeto de Extensão JeniPAPO Podcast (do curso de Engenharia de Alimentos da UEFS) e o Projeto Coleta Seletiva no Colégio Estadual Odorico Tavares (do CEOT) - ambas instituições de ensino público - superior e médio, respectivamente - localizadas na cidade de Feira de Santana-BA. O período relatado encontra-se entre os anos 2023 e 2024. A colaboração entre as instituições foi se estabelecendo através de visitas e reuniões entre as equipes da UEFS e do CEOT, sendo formalizado através da assinatura do termo de anuência pela direção do CEOT (documento exigido pela UEFS à participação de instituições externas parceiras em Projetos de Extensão). Definiu-se o tema Sustentabilidade, como de interesse comum às duas equipes, pelo fato de o colégio já estar iniciando o desenvolvimento do Projeto de Coleta Seletiva e haver relação entre essa temática e a área de alimentos. Uma vez acordado o tema, o trabalho decorreu culminando em ações de formação e divulgação do conhecimento tendo como público alvo direto os e as estudantes do ensino médio dos turnos matutino e vespertino do CEOT, o que envolveu também professores das áreas de Ciências Exatas e Naturais do colégio. Como público indireto, encontram-se os ouvintes do JeniPAPO Podcast e seguidores do *Instagram* @jenipapopodcast (704 seguidores em 28/07/2025) e do @ceotfsa (4023 seguidores em 28/07/2025). O desenvolvimento da parceria envolveu: (a) reuniões de organização; (b) fundamentação teórica - artigos, livros, sites e planejamento das ações; (c) execução de ações - divulgação prévia das ações (cartazes, *Instagram*, comunicações orais); (d) participação em oficinas, palestras, eventos, passeata, elaboração de cartazes, gravação de um episódio de *podcast* (segundo metodologia adaptada de Malta *et al.*(10)); (e) divulgação, acompanhamento e avaliação das ações realizadas; (f) escuta de relatos; (g) escrita de artigos e relatórios; (h) novos planejamentos. A Igreja Nossa Senhora de Fátima (Feira de Santana), vizinha e parceira do CEOT, cedeu espaço para algumas ações da parceria JeniPAPO-Coleta Seletiva.

As e os estudantes do ensino superior (bolsistas e voluntário(a)s da extensão) do JeniPAPO seguiram seu plano de trabalho cadastrado na Pró Reitoria de Extensão da UEFS e as estudantes do ensino médio, que participaram como entrevistadas na Terceira Temporada no Episódio 3 (T3Ep3), entregaram os termos de autorização de responsável para participação e divulgação do referido Episódio, devidamente assinados.

A Atividade “Semana do Meio Ambiente”, em 2023, supervisionada por docentes, envolveu: palestras preparadas e apresentadas por discentes extensionistas do JeniPAPO; seleção de textos com temas em sustentabilidade e os ODS; leitura, discussão e apresentação de textos por alunos e alunas do ensino médio do CEOT, que foram estimulados a se organizarem em grupos com no máximo 9 integrantes para cada turma/conjunto de turmas, por turno, e também foram estimulados a sugerir ações que ajudassem a alcançar os ODS. Neste ano, a equipe JeniPAPO esteve presente em três dias da Semana do Meio Ambiente, com um tipo de atividade a cada dia. Em 2024, a colaboração na Semana do Meio Ambiente envolveu uma palestra, que foi ministrada nas salas de aula, por turma e por turno (matutino e vespertino).

O episódio 29 do JeniPAPO Podcast (T3Ep3) intitulado “Comunidade em ação: Coleta Seletiva no Colégio Odorico Tavares”, gravado no salão da Igreja N. Sra. de Fátima no dia 14/09/2023, foi ao ar no dia 03/11/2023 e envolveu duas alunas e duas professoras do CEOT, além de estudantes e docentes da equipe JeniPAPO (elaboração de roteiro, gravação, edição e publicação).

A participação na 11ª Feciba (Feira de Ciência, Empreendedorismo Social e Inovação da Bahia), em 2023, foi uma iniciativa das professoras de Matemática e Física do CEOT, onde o projeto de Coleta Seletiva foi apresentado por estudantes do 3º ano do CEOT, sob o formato de *banner.* Neste evento, o CEOT divulgou o episódio 29 do JeniPAPO na sua apresentação e por meio de *QR Code*.

A atividade (2024) “Passeata: projeto de implantação da coleta seletiva” teve a participação de uma empresa local (a Sustentare Saneamento) e da Cooperativa dos Badameiros de Feira de Santana (COOBAFS), além de docentes da equipe JeniPAPO. Com o slogan “Esse lixo é seu?”, foram necessários a confecção de faixas, cartazes, uso de carro de som e o envolvimento da comunidade escolar e circunvizinha. A passeata ocorreu pelas ruas próximas ao CEOT.

A Atividade intitulada “O Dia D: Colégio Odorico em ação a caminho da sustentabilidade” contou com *stand* do JeniPAPO que organizou dinâmicas, jogos, distribuição de brindes ou prêmios, onde os ODS e o tema coleta seletiva foram abordados de forma lúdica.

A equipe JeniPAPO também contribuiu com a coleta de recicláveis (papel, garrafas PET, latas) nos espaços da UEFS para serem entregues ao CEOT, na Semana do Meio Ambiente 2024, como um ecoponto. Por meio de postagens no *Instagram* e cartazes no prédio do Labotec 2 da UEFS, divulgou-se a ação convidando a comunidade universitária a colaborar com a iniciativa. Estes materiais foram destinados à COOBAFS localizada próxima ao colégio.

As imagens (fotografias) dos e das estudantes do ensino médio encontram-se desfocadas no intuito de proteger sua imagem, em sua maioria menores de dezoito anos. Quanto aos e às estudantes do ensino superior, as que podem ser identificadas são autoras desse trabalho ou integrantes da Equipe JeniPAPO (todo(a)s maiores de 18 anos).

O tratamento de dados e os resultados decorrentes dessas atividades foram obtidos a partir de: (a) observação das atividades desenvolvidas em conjunto (apresentações, oficinas, palestras, eventos, episódio de *podcast*); (b) registros fotográficos; (c) registros escritos; (d) análise de registros em redes sociais (@jenipapopodcast e @ceotfsa - *Instagram*); escuta do episódio 29 do JeniPAPO

(T3Ep3); e (e) relatos orais de membros da equipe JeniPAPO, Coleta Seletiva e docentes do CEOT.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A parceria CEOT-UEFS durante a Semana do Meio Ambiente em 2023 e 2024 desenvolveu uma série de atividades ilustradas na Figura 1. O que se destaca nesta imagem são as palestras ministradas pela equipe do JeniPAPO, em 2023 (no 1° dia de ação), sobre a Engenharia de Alimentos e a Sustentabilidade (Figura 1(a)) e, em 2024, sobre Logística reversa e Engenharia de Alimentos (Figura 1(b)) nos dois turnos do CEOT. Como formação e informação, a palestra (2023), que foi proferida para um total de 168 estudantes, envolveu a apresentação da equipe JeniPAPO, com a proposta de divulgar a profissão do Engenheiro e da Engenheira de Alimentos em suas mais diversas responsabilidades e competências, especialmente em desenvolver ações de sustentabilidade. Este tema foi definido em parceria com a área de ciências exatas e naturais do CEOT, conforme mencionado anteriormente. Nesse momento deu-se início ao conceito de sustentabilidade, envolvendo as suas três dimensões (social, econômica e ambiental) e a preocupação de assegurar às gerações futuras um planeta sustentável; a temática foi contextualizada com exemplos de indústrias de alimentos que desenvolvem e estimulam ações de sustentabilidade.

Figura 1 – Semana do Meio Ambiente CEOT: (a) Palestras da Equipe JeniPAPO (2023); (b) Palestra Equipe JeniPAPO (2024); (c) trabalho em grupo de estudantes CEOT - textos aplicados a sustentabilidade (d) estudantes CEOT apresentando os textos; (e) soluções à implementação dos ODS elaboradas pelo grupo “Atitude de mudar!”; (f) soluções à implementação dos ODS elaboradas pelo grupo “Pobreza zero”

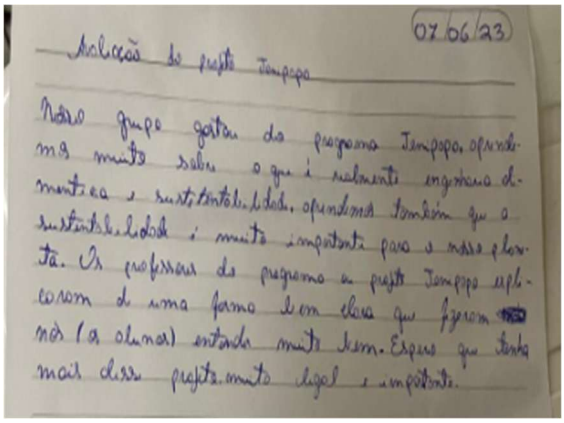
Fonte: Autoras, 2025

O tema “O que é Logística Reversa?” foi trabalhado em palestra específica na Semana do Meio Ambiente de 2024, para um público de 425 estudantes, quando conceitos puderam ser reafirmados e mais trabalhados, colocando e destacando sempre o papel responsável que os Engenheiros de Alimentos e a indústria de alimentos devem ter com o tratamento dado aos seus resíduos. Nessa palestra, durante a apresentação, foi sendo estruturado um mapa conceitual em torno do tema.

Outro momento da Semana do Meio Ambiente (2023), realizado no 2° dia de ação, envolveu a seleção dos textos: 1- O que é locavorismo; 2- Logística reversa: o que é e importância; 3- Economia circular: entenda o que é, suas características e benefícios; 4- Empreendedorismo sustentável: um passo para a sustentabilidade; 5- *Greenwashing* e *socialwhasing*: responsabilidade social na indústria de alimentos; 6- *Clean label*: uma tendência para produtos saudáveis e sustentáveis; 7- Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS); 8- O mercado para os produtos orgânicos está aquecido; 9- Consumo consciente e sustentabilidade: conheça a reciclabilidade dos materiais. As turmas foram divididas em grupos e cada um recebeu um texto desse para leitura e posterior compartilhamento com os colegas, com apresentação por membros de cada grupo (Figura 1(c) e (d)), expondo as principais ideias e sua compreensão do que foi lido. Também cada grupo recebeu um produto alimentício e identificou em seu rótulo indicação de ações de sustentabilidade da empresa fabricante. Neste dia, 175 estudantes participaram desta atividade.

No 3° e último dia da participação da equipe JeniPAPO na Semana do Meio Ambiente 2023, foram trabalhadas as soluções para os ODS. Foi feito um ditado com os 17 ODS, depois a distribuição de alguns ODS por grupo e cada grupo apresentou suas propostas de soluções (Figura 1(e) e (f)) - observem a autodenominação dos grupos (Atitude de Mudar! e Pobreza Zero). Foram 12 grupos no turno da manhã e 12 no turno da tarde, totalizando 149 estudantes, e como cada grupo se autonomeou, na grande maioria, refletiu o envolvimento com o tema ODS (Sustentabilidade Vive, Orquídeas, Fênix, Florescer, Sustentáveis, Os Conservadores, Planeta Saudável *etc*). A realização desses momentos na Semana do Meio Ambiente do CEOT proporcionou uma interação entre os discentes, um aprendizado ativo com a participação dos mesmos, pensar e criar alternativas ao desenvolvimento sustentável. O interessante dos momentos em que os e as estudantes foram protagonistas com suas apresentações, autodenominações ou sugestões foi observar como a maturidade comportamental dos grupos correspondia ao 1º, 2º ou 3º anos do ensino médio. Foi notória a intervenção de pedidos por silêncio ou de participação mais ativa conforme o grupo ser de uma turma desse ou daquele ano. Sobre essa intervenção das docentes, abre-se um parêntese: o desinteresse pelo assunto, a falta de engajamento, o número de estudantes, a infraestrutura da sala de aula, manter a atenção, entre outras situações, são apontados como desafios ao ensino médio (13).

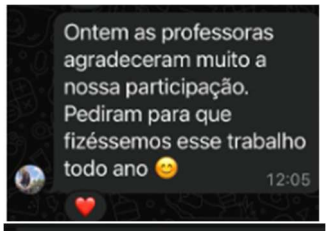
A avaliação dessa parceria foi positiva conforme se observa na Figura 2 (Figura 2(a) - avaliação de estudantes do CEOT) e nas mensagens trocadas entre integrantes das duas equipes (Figuras 2(b)), havendo inclusive sugestões de continuidade da parceria mantendo o tema “sustentabilidade”. Na Figura 2(c), tem-se a postagem do JeniPAPO no seu perfil do *Instagram* sobre uma das ações realizadas no CEOT.

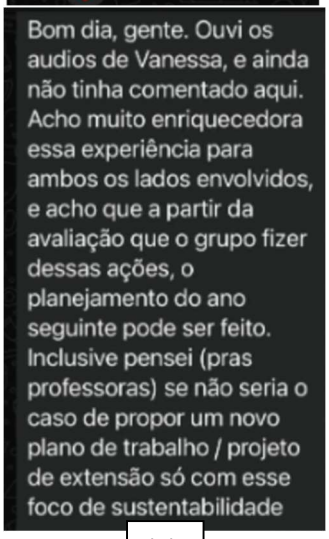


Transcrição:

“Avaliação do projeto Jenipapo

Nosso grupo gostou do programa Jenipapo, aprendemos muito sobre o que é realmente engenharia alimentícia e sustentabilidade, aprendemos também que a sustentabilidade é muito importante para o nosso planeta. Os professores do programa ou projeto Jenipapo explicaram de uma forma bem clara que fizeram nós (os alunos) entender muito bem. Espero que tenha mais desse projeto, muito legal e importante.” (1º ano, vespertino).





(b)

(a)

(c)

Figura 2 – Avaliação da parceria JeniPAPO-Coleta Seletiva na Semana do Meio Ambiente: (a) grupo de estudante do CEOT; (b) troca de mensagens entre integrantes dos Projetos; (c) Publicação @jenipapopodcast

Fonte: Autoras, 2025

Os meios de divulgação das ações de sustentabilidade (Figura 3) compreenderam as ferramentas *Instagram* (Figuras 2(c), 3(a) e (b)), *Podcast* (Figura 3(c)), e divulgação oral em diversos espaços, como por exemplo na Igreja vizinha ao CEOT (Figura 3(d)), salas de aula, pelas ruas vizinhas (passeata).

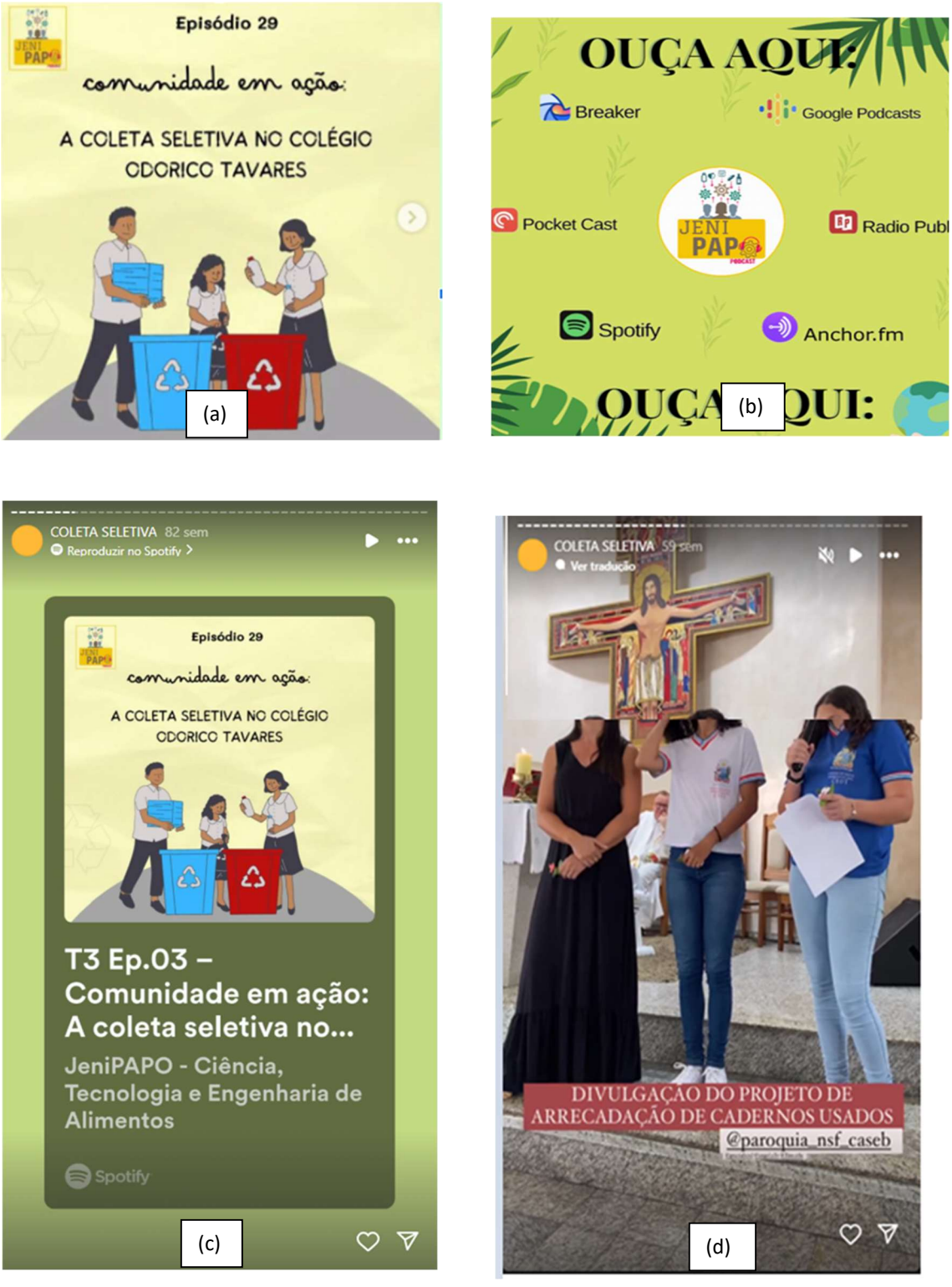


Figura 3 – Divulgação de ações de sustentabilidade: (a) *Instagram* @jenipapopodcast; (b) onde ouvir o JeniPAPO *Podcast* - plataformas de áudios; (c) *Instagram* @ceotfsa; (d) espaços comunitários vizinhos ao CEOT (imagem editada)

Fonte: Autoras, 2025

O Episódio 29 do JeniPAPO (T3Ep3) intitulado “Comunidade em ação - coleta seletiva no Colégio Odorico Tavares”, mais que uma ação de comunicação e informação, contribuiu para a avaliação e divulgação dos dois projetos e da parceria

entre eles. Disponível em plataformas de áudio, como o *Spotify*, *Anchor etc* (Figura 3(b)), o T3Ep3 entrevistou duas alunas do terceiro ano e a professora de física do CEOT sobre o conceito e a importância da sustentabilidade, como consumidores e indústrias de produção de alimentos podem contribuir, qual a avaliação delas sobre as atividades desenvolvidas pela parceria JeniPAPO-Coleta Seletiva na Semana do Meio Ambiente (2023), sobre o Projeto Coleta Seletiva (origem, objetivos, próximas etapas, entraves), com destaque à meta de transformar o CEOT em um Ecoponto. O T3Ep3 durou 20 minutos e 34 segundos, foi reproduzido por 79 vezes, com 7 compartilhamentos e 21 curtidas e pode ser acessado no endereço: https://open.spotify.com/episode/7l0QFHhT6ahN6lRnc8v7te?si=ZqYLGFaLR2SwESJhwYF5KQ.

O Projeto Coleta Seletiva no Colégio Odorico Tavares foi inscrito na 11ª Feira de Ciências, Empreendedorismo Social e Inovação da Bahia - 11ª Feciba, um evento que premia iniciativas em educação, se constituindo num espaço de exibição de experiências e estímulo ao protagonismo estudantil, sob orientação docente, para o fortalecimento do domínio de habilidades próprias no campo das Ciências da Natureza, Humanas, Matemática e Empreendedorismo (14). Nesta perspectiva, representa um espaço importante de Popularização das Ciências na Bahia. Sendo selecionado, o projeto foi apresentado sob a forma de *banner* por estudantes do 3º ano do CEOT e o JeniPAPO contribuiu com a divulgação. Um *QR Code* para acesso ao episódio 29 do JeniPAPO Podcast foi disponibilizado pela equipe CEOT neste evento.

A Figura 4 ilustra o *banner* e os *QR Code* dos Projetos (Figura 4(a)), o momento da apresentação por discentes do CEOT (Figura 4(b)), os prêmios do Coleta Seletiva (Figura 4(c)) e o certificado de 1º lugar na categoria das Ciências da Natureza e suas Tecnologias da etapa territorial do Núcleo Territorial de Educação Portal do Sertão (NTE19), resultado que muito honrou toda a comunidade escolar.

Outro resultado estimulante protagonizado pela comunidade escolar, com a participação ativa de discentes, docentes, representantes da empresa Sustentare Saneamento e da COOBAFS, do JeniPAPO e transeuntes, foi a “Passeata: Projeto implantação de coleta seletiva" realizada em abril/2024 (Figura 5). Na Figura 5 observam-se o *card* de divulgação (Figura 5(a)), os e as participantes da passeata (Figura 5(b)), a divulgação da passeata pelos parceiros JeniPAPO (Figura 5(c)) e Sustentare Saneamento (Figura 5(d)). A presença do carro de som (Figura 5(d)) ampliou a visibilidade da passeata e contribuiu para informar a vizinhança, os comerciantes locais e os transeuntes da importância da coleta seletiva como uma ação de sustentabilidade.

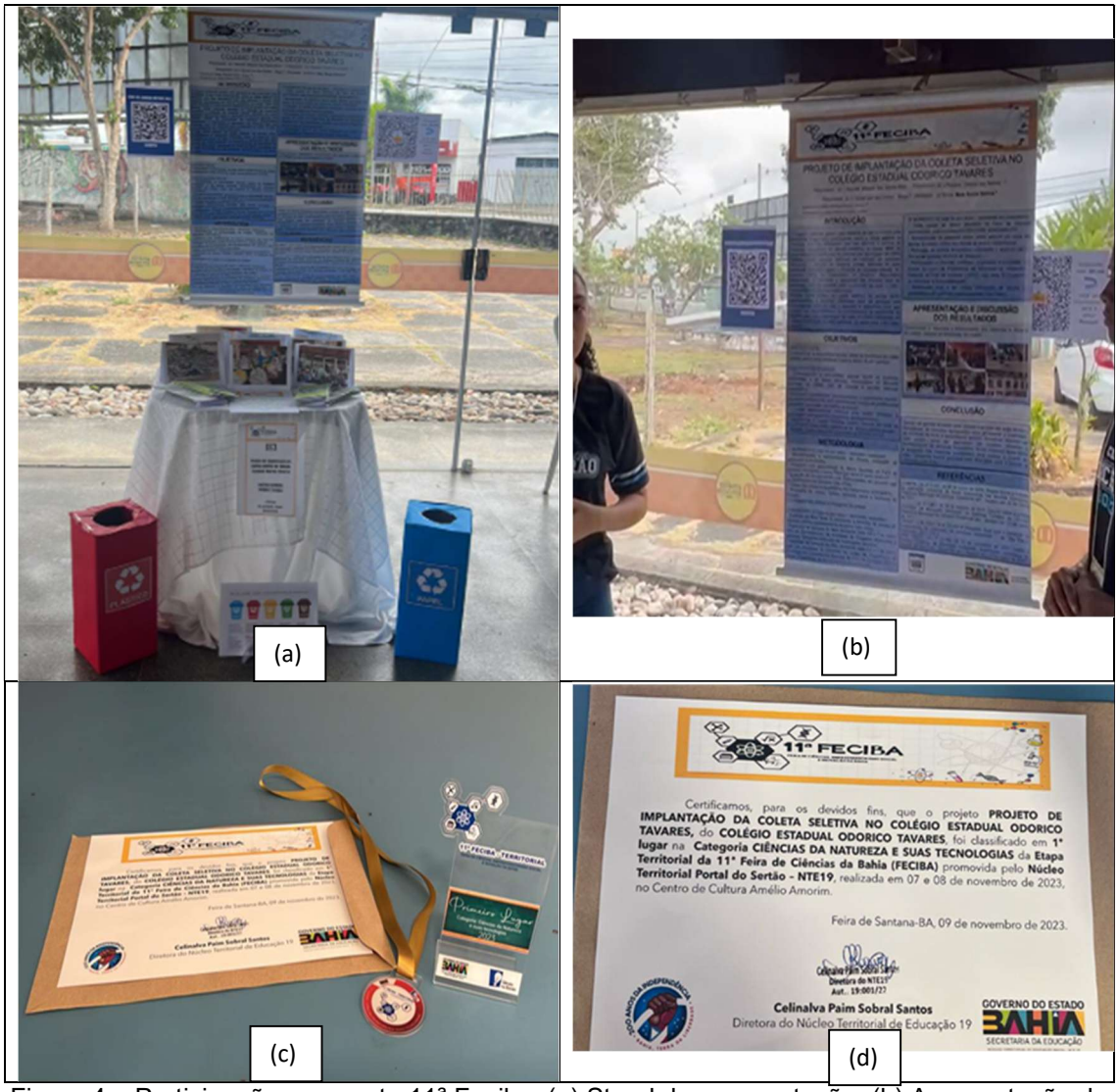


Figura 4 – Participação no evento 11ª Feciba: (a) Stand de apresentação; (b) Apresentação do projeto por estudantes do CEOT; (c) Prêmios recebidos pelo CEOT e o certificado de 1º lugar na categoria das Ciências da Natureza e suas Tecnologias da etapa territorial do Núcleo Territorial (de educação) Portal do Sertão.

Fonte: Autoras, 2025

Figura 5 – Passeata: (a) *card* de divulgação; (b) em caminhada - estudantes, docentes e comunidade em prol da coleta seletiva; (c) docentes JeniPAPO e Coleta Seletiva (d) docentes CEOT e trabalhadores da empresa Sustentare Saneamento

Fonte: Autoras, 2025

Como forma de manifestação popular, as passeatas promovem crescimento político-social e muitas vezes configuram-se em uma das etapas de conquistas ou manutenção de direitos humanos, ambientais e sociais. Para Gohn (15): “Há um caráter educativo nas práticas que se desenrolam no ato de participar, tanto para os membros da sociedade civil, como para a sociedade mais geral, e também para os órgãos públicos envolvidos – quando há negociações, diálogos ou confrontos.” E complementa: “Ocorre de duas formas: na interação dos movimentos em contato com instituições educacionais, e no interior do próprio movimento social, dado o caráter educativo de suas ações.” Destaca-se também o movimento *Fridays for Future* iniciado, em 2019, pela estudante e ativista ambiental sueca Greta Thunberg, de 16 anos (à época). Inicialmente solitária à frente do parlamento sueco, esse movimento se expandiu para um movimento internacional de greves de estudantes contra as mudanças climáticas, que culminaram em mais de 129 protestos globais contra a mudança climática (16). Atualmente, Greta Thunberg possui mais de 14 milhões de seguidores em seu perfil do

Instagram, continua incansável e se configura em um ícone feminino da juventude internacional em defesa do meio ambiente.

O “Dia D - Colégio Odorico em ação a caminho da sustentabilidade” foi o nome adotado pelo CEOT a um evento, ocorrido em 2024, onde toda a comunidade escolar participou por turno. Nesse evento a equipe JeniPAPO pode estimular os e as estudantes bolsistas e voluntários (ensino público superior) da equipe a proporem atividades que poderiam envolver os e as discentes do ensino médio do CEOT. O que a Figura 6 apresenta são os brindes, os jogos lúdicos (jogo da memória sobre ODS, quebra cabeça relacionado à logística reversa *etc*), a participação da comunidade escolar, e mais uma vez a divulgação do Projeto JeniPAPO (através do *QR Code* e da presença da equipe “uniformizada de JeniPAPO”). Durante os jogos tanto na preparação quanto no brincar, os participantes trocam conhecimento, próprio de ações extensionistas.

Figura 6: Participação do JeniPAPO no Dia D - Colégio Odorico em ação a caminho da sustentabilidade

Fonte: *Instagram* @jenipopopodcast (2024)

Em todas essas ações, é importante ressaltar o protagonismo juvenil, representado pela participação ativa dos(as) estudantes do ensino superior, bolsistas e voluntários(as) da Equipe JeniPAPO, em todas as ações desenvolvidas no âmbito da parceria JeniPAPO-Coleta Seletiva. Esses(as) jovens atuaram de forma significativa na curadoria e sugestão de textos, na elaboração e apresentação de palestras sobre temas como Engenharia de Alimentos e Sustentabilidade, na criação de roteiros, além de contribuírem diretamente com a gravação e edição do *podcast*. Também se envolveram de maneira expressiva na interação com os(as) estudantes do ensino médio, promovendo momentos de troca de saberes e construção conjunta do conhecimento. Os estudantes do CEOT também demonstraram interesse nas atividades desenvolvidas, interagiram com a equipe JeniPAPO, por meio de questionamentos, expressando suas opiniões e dúvidas. Esse protagonismo juvenil se constitui em uma participação ativa dos e das estudantes, entendida como um processo de autonomia, iniciativa e responsabilidade social e vai se materializar, por meio de um conjunto de práticas e vivências nas instituições de ensino, onde as ações educativas vão gerar espaços e condições capazes de possibilitar aos jovens envolver-se em atividades direcionadas às soluções de problemas reais, atuando como fonte de iniciativa (17).

CONCLUSÕES

Ainda que a existência de dispositivos constitucionais, infraconstitucionais e internacionais relacionados à espécie humana normatize as suas relações sociais, ambientais, econômicas *etc*, implementá-las requer esforço e comprometimento da sociedade e de seus representantes. A parceria JeniPAPO-Coleta Seletiva conseguiu contribuir com a implementação parcial de alguns desses dispositivos, promover o protagonismo dos estudantes dos ensinos públicos médio e superior em ações de sustentabilidade e, mais que isso, colaborou com o desenvolvimento de capacidades desses jovens tais como: trabalho em equipe, desenvoltura em se expressar durante as apresentações, consciência cidadã e ambiental, criatividade, entre outras.

O 1º lugar da 11ª Feciba, na Etapa Núcleo Territorial de Educação 19 (NTE19), colocou o CEOT em destaque principalmente em sua comunidade escolar diante da cidade de Feira de Santana-BA.

Todos os meios de comunicação e divulgação do conhecimento são importantes, tecnológicos (*instagram, podcast etc*) ou não (visuais - cartazes, faixas; ou orais - comunicados, debates, passeatas *etc*), e contribuem para uma boa formação desde que baseados em informações qualificadas, comprovadas ou científicas.

Ao desenvolver as atividades dessa parceria, destacam-se 5 ODS cujas ações, que devem ser continuadas, contribuíram com algumas metas previstas para até o ano de 2030:

- Parcerias e meios de implementação - ODS 17 (meta 17.7 - incentivar e promover parcerias públicas, público-privadas e com a sociedade civil eficazes, a partir da experiência das estratégias de mobilização de recursos dessas parcerias);
- Consumo e produção responsáveis - ODS 12 (meta 12.2 - alcançar a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais; meta 12.3 - reduzir pela metade o desperdício de alimentos per capita mundial, nos níveis de varejo e do

consumidor, e reduzir as perdas de alimentos ao longo das cadeias de produção e abastecimento, incluindo as perdas pós-colheita; meta 12.5 - reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso; meta 12.8 - garantir que as pessoas, em todos os lugares, tenham informação relevante e conscientização para o desenvolvimento sustentável e estilos de vida em harmonia com a natureza);

- Ação contra a mudança global do clima - ODS 13 (meta 13.3 - melhorar a educação, aumentar a conscientização e a capacidade humana e institucional sobre mitigação, adaptação, redução de impacto e alerta precoce da mudança do clima);
- Cidades e comunidades sustentáveis - ODS 11 (meta 11.6 - reduzir o impacto ambiental negativo *per capita* das cidades, inclusive prestando especial atenção à qualidade do ar, gestão de resíduos municipais e outros);
- Indústria, inovação e infraestrutura - ODS 9 (divulgação da meta 9.4 ao apresentar indústrias de alimentos com ações sustentáveis e como o Engenheiro de Alimentos pode contribuir com essa meta);
- Educação de qualidade - ODS 4 (metas 4.4 - aumentar substancialmente o número de jovens e adultos que tenham habilidades relevantes, inclusive competências técnicas e profissionais, para emprego, trabalho decente e empreendedorismo; meta 4.7 - garantir que todos os alunos adquiram conhecimentos e habilidades necessárias para promover o desenvolvimento sustentável, inclusive, entre outros, por meio da educação para o desenvolvimento sustentável e estilos de vida sustentáveis,...).

A presença regular de estudantes do ensino público superior em espaços do ensino público médio (e vice-versa), além de mutuamente estimulá-los, desafiá-los, cria esperança, desenvolve conhecimento e contribui para a formação profissional e cidadã de todos os envolvidos, ou seja, o tripé indissociável ensino-pesquisa-extensão se construindo em espaços de educação pública e com qualidade.

A continuidade e ampliação da parceria UEFS-CEOT se mostra viável e novos planejamentos encontram-se em andamento, a exemplo do Projeto de Produção de Biscoitos, onde a equipe JeniPAPO apresenta conhecimentos básicos e desafios de física, matemática, biologia, química, financeiro *etc* aplicados em diversas etapas produtivas: desde a formulação dos biscoitos à sua comercialização e provoca os e as discentes do ensino médio a resolverem tais desafios; O Projeto das Minas: cuidar para transformar (aprovado no Edital CNPq/MCTI/MMulheres 31/2023) é outra parceria nacional que envolve a integração e interação entre os ensinos público superior, médio e fundamental no intuito de estimular meninas nas Ciências Exatas, Engenharias e Computação (18).

O Projeto JeniPAPO Podcast é um exemplo inspirador de iniciativa de extensão com impacto significativo no ensino médio, especialmente em escolas públicas. Esse projeto constitui uma ferramenta eficaz para divulgar conhecimento e informações de forma acessível e atraente para os estudantes, além de promover a interação e o compartilhamento de experiências entre a universidade e estudantes do ensino médio.

A carência de projetos como esse em escolas públicas é notável, pois muitas vezes essas instituições carecem de recursos financeiros e materiais para desenvolver projetos inovadores e atraentes para os estudantes. Além disso, a falta de interação entre a universidade e o ensino médio leva a uma desconexão entre a teoria e a prática, prejudicando a qualidade da educação.

É fundamental assegurar a continuidade, a efetividade e o fortalecimento dos projetos pedagógicos, das atividades extracurriculares e das demais ações já

consolidadas ao longo dos anos, contribuindo diretamente para a manutenção da qualidade do ensino oferecido e para o atendimento adequado às demandas específicas da comunidade escolar atendida.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Feira de Santana pelas bolsas de extensão, através do Programa Interno de Bolsas de Extensão da Pró Reitoria de Extensão (PIBEX-PROEX). Ao financiamento do projeto de extensão pelo Programa de Auxílio Financeiro a Programas e Projetos de Extensão (PIAFPPEX). Aos envolvidos na parceria UEFS-CEOT. À colaboração da empresa Sustentare Saneamento, à Igreja Nossa Senhora de Fátima e à COOBAFS. Aos estudantes Amélia Teixeira e Cleison C. de Souza pela edição do Episódio 29 (T3Ep3).

REFERÊNCIAS

1 MARTINS, J. Dia do meio ambiente: 5 desastres ambientais recentes para não esquecer (ou repetir). **Correio Braziliense**, Brasília, 5 jun. 2021. Disponível em: https://www.correiobraziliense.com.br/brasil/2021/06/4929070-dia-do-meio-ambiente-5-desastres-ambientais-recentes-para-nao-esquecer--ou-repetir.html. Acesso em: 3 jun. 2025.

2 ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. ONU confirma que 2023 bate recorde de temperatura global. **(S. l.)**, 12 jan. 2024. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/257750-onu-confirma-que-2023-bate-recorde-de-temperatura-global. Acesso em: 3 jun. 2025.

3 DURÃES, G. Aumento do nível do mar pode afetar 2 milhões de brasileiros, diz estudo: veja como ficariam capitais mais ameaçadas pela inundação. **O Globo**, Rio de Janeiro, 29 jun. 2024. Disponível em: https://oglobo.globo.com/brasil/meio-ambiente/noticia/2024/06/29/aumento-do-nivel-do-mar-pode-afetar-2-milhoes-de-brasileiros-diz-estudo-veja-como-ficariam-capitais-mais-ameacadas-pela-inundacao.ghtml. Acesso em: 4 maio 2025.

4 PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD). ODS em ação. **(S. l.: s. n.)**, (s. d.). Disponível em: https://www.undp.org/pt/brazil/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel. Acesso em: 3 jun. 2025.

5 BOCCHINI, B. Brasil apresenta objetivos de desenvolvimento sustentável na ONU. Agência Brasil, São Paulo, 17 jul. 2024. Disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2024-07/brasil-apresenta-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-na-onu. Acesso em: 4 jun. 2025.

6 MIRANDA, F. S.; AMARAL, M. A. Um panorama das ações extensionistas desenvolvidas em cursos superiores de computação. **Educação em Revista**, Belo Horizonte, v. 39, 2023. DOI: 10.1590/0102-469838875.

7 AGÊNCIA GOV. Censo Escolar 2023 mostra aumento das matrículas em tempo integral e profissional. **(S. l.)**, 22 fev. 2024. Disponível em:

https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202402/mec-e-inep-divulgam-resultados-do-censo-escolar-2023. Acesso em: 4 jun. 2025.

8 AGÊNCIA GOV. Conclusão do ensino superior é maior entre estudantes com cotas e ProUni, diz pesquisa. **(S. l.)**, 3 out. 2024. Disponível em: https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202410/mec-e-inep-divulgam-resultado-do-censo-superior-2023. Acesso em: 4 jun. 2025.

9 OLIVEIRA, L. A. M. de; ROCHA NETO, J. M. da. Protagonismo juvenil na educação. Enap – Escola Nacional de Administração Pública, Brasília, 2020. Disponível em: https://repositorio.enap.gov.br/jspui/bitstream/1/5001/1/Louise%20Alves%20Machado%20de%20Oliveira.pdf. Acesso em: 5 jun. 2025.

10 MALTA, H. L.; GONÇALVES, S. S.; RIOS, S. P. de O.; CARNEIRO, V. L.; SANTOS, K. O. dos; BRITO, M. M. dos S.; SANTOS, B. M. S. JeniPAPO Podcast: discentes e docentes unidos para a divulgação do conhecimento científico. **Interfaces: Revista de Extensão da UFMG**, Belo Horizonte, v. 11, n. 1, 2023. Disponível em: https://periodicos.ufmg.br/index.php/revistainterfaces/article/view/34585. Acesso em: 4 jun. 2025.

11 JENIPAPO PODCAST 29. Comunidade em ação: a coleta seletiva no Colégio Odorico Tavares. Entrevistadas: Kauane Oliveira dos Santos, Mayelle Macedo dos Santos Brito e Bruna Melo Souza Santos. Entrevistadoras: Silvana Santos Gonçalves, Sarah Patrícia de Oliveira Rios e Vanessa Lúcia Carneiro. Feira de Santana: JeniPAPO Podcast, 3 nov. 2023. Podcast. Disponível em: https://open.spotify.com/episode/7l0QFHhT6ahN6lRnc8v7te?si=0gvKfigSTSaNGi_p3EEilA. Acesso em: 19 jul. 2025.

12 MOURA, T. Estudantes baianos são premiados na maior feira de ciências e engenharia do Brasil. **(S. l.)**, 28 mar. 2025. Disponível em: https://www.ba.gov.br/educacao/noticias/2025-03/1770/estudantes-baianos-sao-premiados-na-maior-feira-de-ciencias-e-engenharia-do. Acesso em: 4 jun. 2025.

13 TARTUCE, G. L. B. P.; MORICONI, G. M.; DAVIS, C. L. F.; NUNES, M. M. R. Desafios do ensino médio no Brasil: iniciativas das secretarias de educação. **Cadernos de Pesquisa**, São Paulo, v. 48, n. 168, p. 478-504, abr./jun. 2018. Disponível em: https://publicacoes.fcc.org.br/cp/article/view/4896. Acesso em: 28 ago. 2025.

14 UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA. 8ª Feira de Ciências, Empreendedorismo e Inovação da Bahia (FECIBA), de 10 a 12 de dezembro, em Lauro de Freitas - BA. **(S. l.)**, 2019. Disponível em: https://residenciapedagogica.ufba.br/8a-feira-de-ciencias-empreendedorismo-e-inovacao-da-bahia-feciba-de-10-12-de-dezembro-em-lauro-de. Acesso em: 5 jun. 2025.

15 GOHN, M. da G. Movimentos sociais na contemporaneidade. **Revista Brasileira de Educação**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 47, p. 333-349, ago. 2011. DOI: 10.1590/S1413-24782011000200005. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbedu/a/vXJKXcs7cybL3YNbDCkCRVp. Acesso em: 6 jun. 2025.

16 OLIVEIRA, E. Estudantes vão às ruas em protesto global contra mudança climática. G1, São Paulo, 15 mar. 2019. Disponível em: https://g1.globo.com/educacao/noticia/2019/03/15/estudantes-vao-as-ruas-em-protesto-global-contra-mudanca-climatica.ghtml. Acesso em: 6 jun. 2025.

17 PEREIRA, N. C.; BARLETA, I. A. Ensino médio integral e protagonismo juvenil: práticas e vivências na escola do novo saber no Amapá. **Dialogia**, São Paulo, 2022. Disponível em: https://periodicos.uninove.br/dialogia/article/view/21064/9487. Acesso em: 18 jul. 2025.

18 UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO. Projetos da Unifesp são aprovados em edital que estimula meninas e mulheres nas carreiras de Ciências Exatas, Engenharias e Computação. **(S. l.)**, 18 nov. 2024. Disponível em: https://portal.unifesp.br/destaques/projetos-da-unifesp-sao-aprovados-em-edital-que-estimula-meninas-e-mulheres-nas-carreiras-de-ciencias-exatas-engenharias-e-computacao. Acesso em: 6 jun. 2025.

DEGRADAÇÃO DO CORANTE ALÍMENTICIO VERDE RÁPIDO ATRÁVES DE PROCESSO OXIDATIVO AVANÇADO ELETROQUÍMICO

DEGRADATION OF FAST GREEN FOOD COLOR THROUGH ELECTROCHEMICAL ADVANCED OXIDATIVE PROCESS

DOI: 10.65747/conali2025v3c34

Gabriel Paiva Ourem[1]; Lucas Lapa de Alburquerque[2]; Kyara Gonçalves Santa Rosa [2]; Alice Maria Zeferino dos Santos [2]; Maria Clara Barbosa Nascimento[3]; Daniella Carla Napoleão[4]

[1]Mestrando em Engenharia Química- CTG – UFPE; [2]Estudande do curso de Engenharia Química- CTG – UFPE; [4]Estudante do curso de Ciências Biológicas – UFRPE; [4]Docente/pesquisador do Depto de Engenharia Química – CTG – UFPE.
Contato: gabriel.paiva@ufpe.br

Resumo: O elevado consumo de alimentos industrializados tem crescido nos últimos anos, devido ao aumento populacional. O ramo industrial de alimentos tem como estratégia a utilização de corantes alimentícios para maior atratividade da população, consequentemente gerando mais efluente industrial com esse material específico e de difícil tratamento devido às suas características de estabilidade química, que lhes confere baixa biodegradação. Devido a essas dificuldades, tratamentos alternativos para degradar esse contaminante, como os processos oxidativos avançados eletroquímicos (POAE) via oxidação anódica vêm sendo estudados. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi aplicar esse tipo de tratamento para degradar o corante verde rápido em solução aquosa. Testes preliminares foram realizados com 10 $mg \cdot L^{-1}$ do corante, volume de 200 mL de amostra, densidade de corrente de 10 $mA \cdot cm^{-2}$ e 3 cm de distância entre os eletrodos, em que foi obtida uma degradação de 88,40%. Buscando melhorar a eficiência do tratamento, foram realizados testes variando parâmetros operacionais como densidade de corrente, distância entre os eletrodos e ensaios de volumes. Após obter a melhor condição de trabalho, foi realizado um acompanhamento cinético ao longo de 120 min e atingiu-se uma máxima degradação de 95,79% do corante alimentício. Os dados experimentais se ajustaram bem a modelos cinéticos disponíveis na literatura, mostrando seguir um perfil de pseudo-primeira ordem.

Palavras–chave: Tratamento de efluentes; Oxidação Anódica; Verde Rápido.

Abstract: The high consumption of processed foods has increased in recent years due to population growth. The food industry has adopted the use of food dyes as a strategy to enhance product appeal, consequently generating greater volumes of industrial effluents containing these specific and hard-to-treat substances. This is largely due to their chemically stable nature, which confers low biodegradability. Owing to these challenges, alternative treatment methods—such as electrochemical advanced oxidation processes (EAOPs) via anodic oxidation—have been investigated for the degradation of such contaminants. Therefore, the objective of this study was to apply this type of treatment to degrade fast green dye in aqueous solution. Preliminary tests were conducted using a dye concentration of 10 $mg \cdot L^{-1}$, a sample volume of 200 mL, a current density of 10 $mA \cdot cm^{-2}$, and an electrode spacing of 3 cm, resulting in a degradation efficiency of 88.40%. In an effort to improve treatment efficiency, additional tests were carried out by varying operational parameters such as current density, electrode spacing, and sample volume. After determining the optimal operating conditions, kinetic monitoring was performed over 120 minutes, achieving a maximum dye degradation of 95.79%. The experimental data fit well to kinetic models found in the literature, indicating a pseudo-first-order reaction profile.

Keywords: Effluent treatment; Anodic oxidation; Fast Green.

INTRODUÇÃO

O aumento da demanda por alimentos industrializados, impulsionado pelo crescimento populacional e pela urbanização, tem exigido da indústria de alimentos a utilização de aditivos capazes de garantir a aparência, estabilidade e aceitabilidade sensorial dos produtos. Dentre os aditivos mais utilizados, os corantes alimentícios desempenham um papel fundamental na atratividade dos alimentos processados, contribuindo significativamente para a preferência ou não do consumidor. Entre eles, destaca-se o Verde Rápido FCF (*Fast Green*), um corante sintético amplamente empregado em confeitos, bebidas, sobremesas e outros produtos industrializados, devido à sua alta solubilidade em água, estabilidade térmica e resistência à luz (Alegbe; Uthman, 2024).

Apesar de sua ampla aceitação e utilização no meio industrial, a presença de corantes sintéticos em efluentes industriais representa um dos principais desafios ambientais da atualidade. Esses compostos são reconhecidos por sua estrutura complexa e estabilidade química, que lhes confere baixa biodegradação, dificultando sua remoção por meio de métodos convencionais de tratamento de efluentes industriais (físicos e/ou químicos e/ou biológicos). Em ambientes aquáticos, a presença do corante altera propriedades físico-químicas da água, como turbidez e pH, reduzindo a penetração de luz e comprometendo processos biológicos essenciais, como a fotossíntese de organismos autótrofos (1, 2). Além disso, estudos apontam que muitos corantes podem apresentar efeitos tóxicos, mutagênicos e potencial carcinogênico, especialmente em populações mais vulneráveis como crianças, tornando seu controle ambiental uma questão de saúde pública (3, 1).

Nesse contexto, o desenvolvimento de tecnologias alternativas para o tratamento de efluentes contendo corantes sintéticos tem se tornado uma área estratégica para a engenharia ambiental e de processos. Visto isso, os processos oxidativos avançados (POA) surgem como alternativas tecnológicas eficazes para a degradação de poluentes orgânicos persistentes (POP). Tais processos se baseiam na geração de espécies reativas de oxigênio, especialmente o radical hidroxila (·OH), que possui alto potencial de oxidação (E° = 2,80 V). Estes radicais são capazes de oxidar uma ampla gama de compostos orgânicos até produtos como CO_2 e H_2O (4, 2). Os POA englobam diferentes mecanismos de degradação, podendo ser subdivididos em vários tipos como ozonização, que utiliza ozônio e radiação; processos fotoquímicos como o foto-Fenton, que faz uso de peróxido de hidrogênio, uma fonte de radiação como a ultravioleta (UV) e uma fonte de ferro; fotocatálise heterogênea, que combina o uso de um semicondutor e uma radiação, dentre outros (5).

Apesar de sua eficiência, muitos dos POA clássicos apresentam limitações relacionadas à necessidade de reagentes auxiliares, como catalisadores metálicos ou adição de agentes oxidantes como o H_2O_2, além de custos operacionais elevados e risco de formação de subprodutos tóxicos (6). Diante disso, os processos oxidativos avançados eletroquímicos (POAE) têm se destacado como uma alternativa que consegue aliar eficiência e sustentabilidade. Esses processos consistem

na aplicação de corrente elétrica a um sistema eletroquímico, onde espécies oxidantes são geradas *in situ*, principalmente na interface eletrodo/solução. O radical hidroxila é formado diretamente na superfície do ânodo a partir da oxidação da água (7,8).

A utilização do POAE no tratamento de efluentes contendo corantes sintéticos tem se mostrado eficaz, apresentando vantagens operacionais como controle preciso das condições reacionais, ausência de etapas químicas adicionais e possibilidade de integração com outras tecnologias, como a adsorção ou filtração por membranas. Outro ponto favorável é sua aplicação em reatores compactos, que demandam menor área física e permitem escalabilidade em processos industriais (9).

No entanto, a performance do processo eletroquímico está intrinsecamente relacionada a fatores operacionais, como o tipo de eletrodo, a composição/concentração do eletrólito, a geometria da célula, além de variáveis específicas como densidade de corrente, volume da solução e distância entre os eletrodos. A densidade de corrente afeta diretamente a taxa de geração dos radicais hidroxila e a velocidade da reação de oxidação, sendo necessário balancear esse parâmetro para evitar o consumo excessivo de energia ou a formação de subprodutos secundários (4). O volume de solução, por sua vez, influencia a razão entre área superficial dos eletrodos e o volume útil do reator, afetando a eficiência do tratamento, uma vez que interfere diretamente no contato entre poluente e agente oxidante. Por outro lado, a distância entre os eletrodos impacta na resistência elétrica da célula, interferindo no consumo energético e na eficiência global do processo (7).

Além da análise da remoção do corante, torna-se essencial avaliar a cinética reacional, através do ajuste dos dados a modelos cinéticos que descrevam com precisão a dinâmica da degradação ao longo do tempo. A modelagem cinética permite compreender os mecanismos envolvidos, otimizar condições operacionais e prever o comportamento do sistema em diferentes escalas. Dentre os modelos mais utilizados para descrever a degradação de corantes por POAE, destacam-se os modelos de pseudo-primeira ordem, como os propostos por Nichela *et al*., (10) e Chan e Chu (11), que possuem caráter empírico, sendo utilizados para ajustes em sistemas mais complexos.

Neste cenário, a aplicação de POAE na degradação do corante Verde Rápido se apresenta como uma alternativa ambientalmente viável e potencialmente eficaz, alinhando-se aos princípios da química verde, à busca por processos limpos e ao desenvolvimento de soluções sustentáveis para o setor alimentício. Assim, faz-se necessária a realização de estudos que avaliem a influência de variáveis operacionais não apenas para o avanço do conhecimento científico, mas também para a consolidação do POAE como uma metodologia prática para a mitigação da poluição industrial.

Com isto, o objetivo deste trabalho é avaliar a degradação do corante alimentício Verde Rápido por meio de processo oxidativo avançado eletroquímico, considerando a influência de parâmetros operacionais e a cinética reacional do sistema.

MATERIAIS E MÉTODOS

IDENTIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DO ANALITO

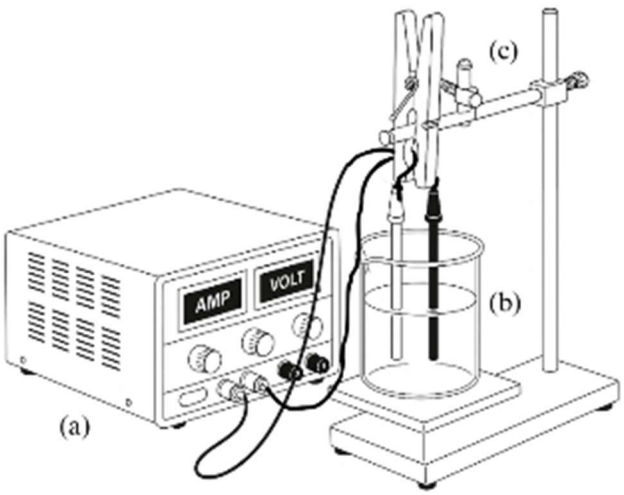
Primeiramente para se iniciar o estudo do corante verde rápido FCF (*Colour Index* (CI) 42053), foi preparada uma solução estoque de água destilada e o corante alimentício, na concentração de 1000 $mg \cdot L^{-1}$ e a partir desta, realizadas todas as diluições necessárias. Com o objetivo de determinar o comprimento de onda característico (λ), realizou-se uma varredura espectral na faixa de 200 a 700 nm, utilizando um espectrofotômetro de absorção molecular na região do ultravioleta/visível (UV/Vis) (Metash, modelo UV-5100). O comprimento de onda com maior absorbância foi selecionado para o monitoramento da degradação.

Após determinar o comprimento de onda característico, foi construída uma curva analítica com faixa linear de 1 a 20 $mg \cdot L^{-1}$ para seguir com a quantificação do contaminante antes e após o tratamento empregado.

TRATAMENTO VIA PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS ELETROQUÍMICOS

Os testes de degradação eletroquímica foram conduzidos usando eletrodos de grafite como ânodo e cátodo, conectados a uma fonte de alimentação (Manipa, Modelo OS-6000) em um suporte para os eletrodos como demostrado na Figura 1.

Figura 1- Aparato eletroquímico formado por: Fonte de alimentação (a), reator de 250 mL (b) e suporte de eletrodos (c)



Fonte: os Autores (2025).

Inicialmente, foi preparada uma solução trabalho de 10 $mg \cdot L^{-1}$ do corante alimentício em estudo para uso nos ensaios de degradação. Para tal, foram utilizados béqueres de 250 mL e um volume de solução de 200 mL. Alguns parâmetros foram fixados para esse teste, sendo eles: a distância entre os eletrodos (3 cm), cloreto de sódio (NaCl) a 0,05 $mol \cdot L^{-1}$ como eletrólito suporte e profundidade de imersão dos eletrodos na solução (2 cm). Todos os testes foram realizados em duplicata por um período de 60 min.

Verificada a eficiência do tratamento proposto para o teste inicial, foram avaliadas as influências dos parâmetros eletroquímicos, com o objetivo de definir a melhor a condição experimental, variando uma variável por vez e fixando as demais. Assim, avaliou-se a influência da densidade de corrente (5,10 e 15 $mA.cm^{-2}$), em seguida, a distância entre os eletrodos (1, 3 e 5 cm) e por fim, o volume de solução a ser tratada (200, 500 e 1000 mL), cada ensaio teve uma duração de 60 min. Em todos os ensaios experimentais, foram retiradas alíquotas de 2 mL nos tempos de 0, 15, 30 e 60 min. As amostras foram analisadas pela técnica analítica de espectrofotometria ultravioleta/visível, no comprimento de onda característico previamente determinado, como descrito no item anterior. A avaliação da eficiência do processo foi realizada por meio do cálculo do percentual de degradação do corante. Uma vez definidas as condições experimentais que favorecem a degradação do corante, pôde-se seguir para o estudo cinético.

ESTUDO CINÉTICO DA DEGRADAÇÃO

Com as melhores condições operacionais definidas (densidade de corrente, distância entre os eletrodos e volume), foi conduzido o estudo cinético do processo. Para isso, foram realizadas duas bateladas de um volume de 200 mL da solução, sendo retiradas alíquotas de 2 mL em intervalos regulares de tempo: 0, 2, 5, 8, 10, 15, 20, para a primeira batelada e 25, 30, 45, 60, 75, 90 e 120 min, para a segunda batelada. Esses ensaios foram assim realizados de modo a não comprometer o volume de amostra tratado. Os dados experimentais foram ajustados aos modelos cinéticos descritos por Chan e Chu (11) e Nichela *et al*. (10), que podem ser descritos pelas Equações 1 e 2, respectivamente, com auxílio do *Origin*.

$$\frac{C}{C_0} = 1 - \frac{t}{\rho + \sigma t} \qquad (1)$$

Sendo, C ~~é~~ a concentração em um dado instante de tempo; C_0, a concentração no tempo zero; ρ, a cinética reacional em minutos e σ é a capacidade oxidativa.

$$\frac{(C)}{(C_0)} = \frac{1-a.t-D}{1+\left(\frac{t}{b}\right)C} + D \qquad (2)$$

Em que: (C) é a concentração do corante ($mg \cdot L^{-1}$) no tempo t (min), (C_0) é a concentração no tempo zero ($mg \cdot L^{-1}$), a (min^{-1}) é a taxa média de oxidação (taxa inicial aparente), b (min) é o tempo necessário para atingir metade da concentração inicial (meia-vida aparente), C a inclinação média durante a fase rápida e D o valor residual final.

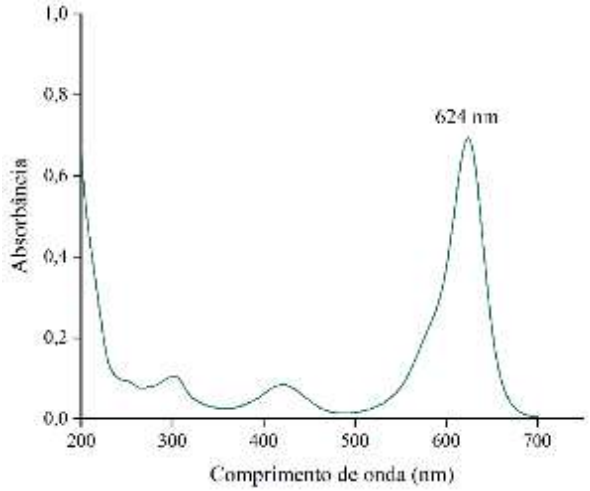
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico, estão os resultados encontrados da degradação do corante alimentício por tratamento eletroquímico que posteriormente foram discutidos.

IDENTIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DO ANALITO

Foi realizada uma varredura espectral de 200 a 700 nm pela técnica de espectrofotometria de absorção molecular ultravioleta/visível, cujo espectro está apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Espectro de UV/Vis da solução do corante verde rápido (*Fast Green)*

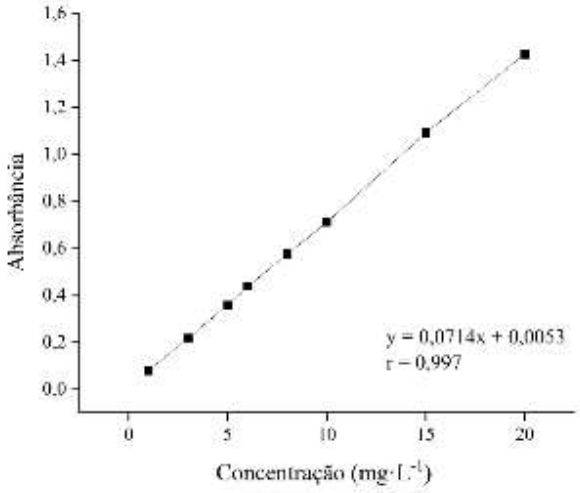


Fonte: os Autores (2025).

De acordo com a Figura 2, verifica-se que o pico de maior absorbância se deu no comprimento de onda (λ) de 624 nm, com absorbância máxima de 0,6913. De acordo com Barboza; Merlo; Pazinatoa (12), a faixa entre 400 e 720 nm refere-se aos grupamentos cromóforos, ou seja, aqueles responsáveis por conferir cor ao produto. A partir deste resultado, todas as análises foram realizadas com este λ.

Após determinar o λ característico, foi construída uma curva analítica com faixa de trabalho entre 1 e 20 $mg \cdot L^{-1}$ que está demostrada na Figura 3.

Figura 3 – Curva analítica do corante alimentício em 624 nm.



Fonte: os Autores (2025).

Ao avaliar a Figura 3, pode-se verificar um coeficiente de correlação linear (r) igual a 0,997, o qual se enquadra na faixa de confiabilidade do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) e da Agência Nacional de vigilância Sanitária (ANVISA) que solicita o valor de r > 0,99. A partir destes dados, pôde-se seguir para a degradação do contaminante por processos oxidativos avançados eletroquímicos.

TRATAMENTO VIA PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS ELETROQUÍMICOS

Para os testes preliminares, foram variados diferentes parâmetros experimentais, primeiramente foi testado a densidade de corrente e fixando os outros parâmetros, como distância entre os eletrodos e volume da solução trabalho. A degradação do contaminante variando as densidades de correntes estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Degradação com variações de densidade de corrente

Densidade de corrente ($mA.cm^{-2}$)	**Degradação (%)**
5	67,42
10	88,40
15	92,64

Fonte: Autores, 2025

A partir dos dados da Tabela 1, pode-se verificar que, quanto maior a densidade de corrente, maior a degradação. Este fato está associado a maior quantidade de corrente passando pela solução, que consequentemente, aumenta o fluxo de elétrons no sistema, gerando assim mais agentes oxidantes. Ao se avaliar a degradação entre 10 e 15 $mA.cm^{-2}$, ocorreu uma variação menor do que 5% entre os dados e a partir desse resultado, seguiu-se com a menor densidade de corrente mantendo a eficiência do processo e reduzindo o gasto energético. Essa escolha foi feita tendo em vista que outros parâmetros operacionais também serão avaliados, permitindo elevar a eficiência do tratamento proposto.

Após selecionar a densidade de corrente mais adequada (10 $mA.cm^{-2}$), pôde-se fixar esse parâmetro e seguiu-se para a variação da distância entre os eletrodos, variando em 1, 3 e 5 cm. Os valores de degradação estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Degradação com variações de distância entre os eletrodos

Distância entre os eletrodos (cm)	**Degradação (%)**
1	90,16
3	89,72
5	88,40

Fonte: Autores, 2025

Ao analisar a Tabela 2, pode-se concluir que a variação da distância entre os eletrodos para este contaminante é menor do que 5%, se mantendo a eficiência do tratamento. Por questões operacionais, optou-se por trabalhar com 3 cm de distância entre eles. No estudo realizado por Khan *et al* (13), pode-se observar comportamento semelhante, optou-se a trabalhar com 3 cm para degradar corante Azul reativo 19 (RB19), em que foi determinada uma degradação máxima de 82,5% do contaminante.

Após determinar a densidade de corrente e a distância entre os eletrodos, foram feitos estudos com volumes de 200, 500 e 1000 mL, cujos resultados estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 – Degradação com variações de volume

Volume de solução trabalho (mL)	**Degradação (%)**
200	89,10
500	80,43
1000	82,42

Fonte: Autores, 2025

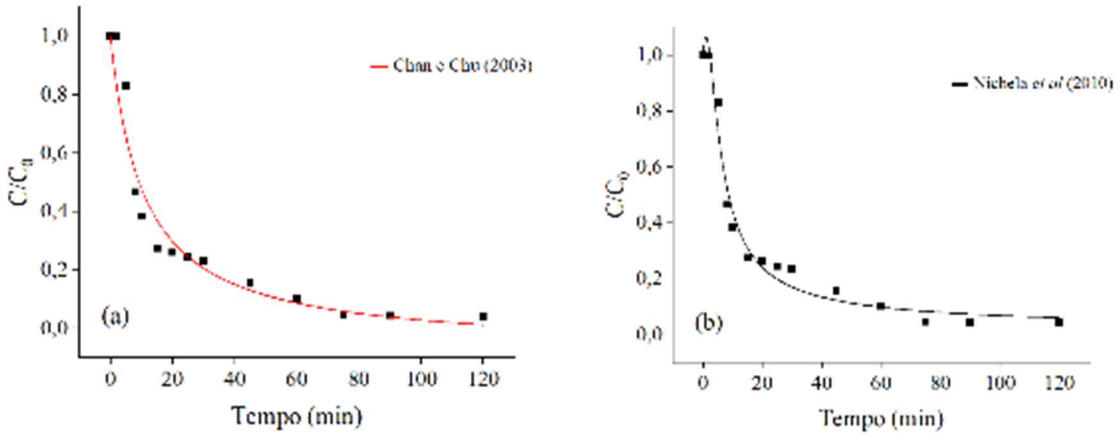
No estudo de volume descrito na Tabela 3, pode-se observar que houve uma variação em torno de 7,5% ao se comparar com o estudo de 200 mL, indicando não ser possível aumentar o volume de amostra a ser tratado para as condições operacionais estabelecidas. Sabe-se que nos

POAE a degradação do contaminante ocorre na superfície do eletrodo, o que mostra a necessidade de em trabalhos futuros avaliar a influência da razão entre a profundidade de imersão dos eletrodos e o volume de amostra (14). A partir deste resultado, seguiu-se com o estudo da cinética de degradação do corante.

ESTUDO CINÉTICO DA DEGRADAÇÃO

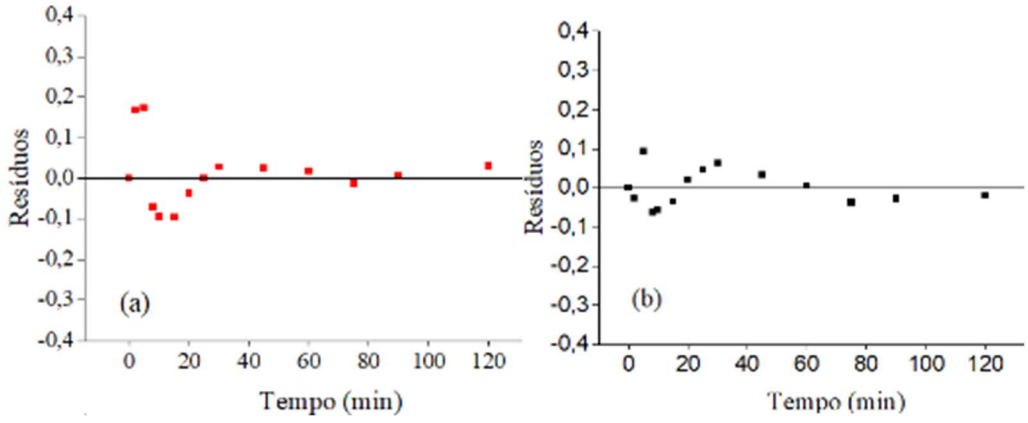
Na avaliação cinética, os ensaios foram realizados com 200 mL em tempo reacional de 120 min, empregando 10 mA·cm^{-2} e 3 cm de distância entre os eletrodos. Os dados obtidos foram avaliados quanto ao ajuste aos modelos cinéticos de Chan e Chu (11) e Nichela *et al*. (10) (Figura 4 e 5).

Figura 4 – (a) Ajuste cinético ao modelo de Chan e Chu (11); (b) Nichela *et al*. (10). Condições operacionais: 10 mA·cm^{-2}, 3 cm de distância entre os eletrodos, p = 1 atm, T = 25±3ºC.



Fonte: Autores, 2025

Figura 5 – (a) Resíduos gerados pelo ajuste cinético ao modelo de Chan e Chu (11); (b) Resíduos gerados pelo ajuste cinético ao modelo de Nichela *et al*. (10). Condições operacionais: 10 mA·cm^{-2}, 3 cm de distância entre os eletrodos, p = 1 atm, T = 25±3ºC.



Fonte: Autores, 2025

A partir da Figura 4, observa-se que os resultados obtidos para ambos os modelos cinéticos apresentam uma taxa de decaimento rápida nos primeiros 20 min, seguido de uma etapa lenta que atinge o equilíbrio a partir de 90 min, quando se obtém uma degradação máxima de 95,79% do corante. Enquanto a Figura 5, demonstra os resíduos gerados pelos modelos, ocorrendo uma flutação inicial e se estabilizando em torno do eixo central ao decorrer do tratamento. De modo a complementar a análise da Figura 4, a Tabela 4 com os parâmetros de cada modelo.

Tabela 4 – Parâmetros dos modelos cinéticos testados

Modelo	**Parâmetro**	
Chan e Chu (2003)	R^2	0,94
	Sr^2	$7,14x10^{-3}$
	$1/\sigma$	1,073 ± 0,05373
	$1/\rho$ (min^{-1})	0,103 ±1,668
Nichela *et al.* (2010)	R^2	0,98
	a (min^{-1})	-0,15 ± 0,1453
	b (min^{-1})	4,096 ±1,6845
	c	1,1778±0,2198
	d	0,01326±0,0670

Fonte: Autores, 2025

De acordo com a Tabela 4, pode-se verificar que os dados se ajustam bem para ambos os modelos estudados, devido aos valores de R^2 iguais a 0,94 e 0,98 para o modelo de Chan e Chu (11) e Nichela *et al*. (10), respectivamente. Para o modelo proposto por Chan e Chu (11), a taxa reacional (ρ) com valor de 0,103 (min^{-1}) e uma capacidade oxidativa (σ) de 1,073 é compativel para o modelo, pois foram observados dois estágios reacionais, com uma etapa rápida inicialemtne, seguida por outra lenta, que é característico do modelo testado.

No modelo proposto por Nichela *et al*. (10), o parâmetro a (min^{-1}) apresentou valor negativo, possivelmente decorrente de flutuações experimentais observadas nos primeiros minutos do tratamento, o que compromete a representação inicial da cinética. No entanto, ao longo do tempo, os dados experimentais se adequaram ao modelo. O parâmetro b=4,096 de valor elevado, indica uma etapa inicial rápida da reação, característica dos primeiros instantes do processo. Já os

parâmetros c=1,1778 e d=0,01326 ambos com valores relativamente baixos, justificam a desaceleração do processo ao longo do tempo, refletindo a transição para uma fase mais lenta e estável, especialmente após 120 min de reação.

CONCLUSÕES

O uso do processo oxidativo avançado eletroquímico via oxidação anódica se mostrou aplicável para a degradação do corante alimentício verde rápido. Ao se avaliar as condições operacionais, a densidade de corrente definida foi de 10 $mA \cdot cm^{-2}$, tendo em vista o gasto energético. De modo a garantir elevados valores de degradação (> 90%) foi possível tratar 200 mL. A partir dos dados cinéticos confirmou-se que, existe uma etapa rápida do processo, nos primeiros 20 min, seguida por uma etapa lenta que alcança o equilíbrio após 90 min de tratamento; indicando um perfil de degradação de pseudo primeira-ordem. Diante disto, pode-se constatar que o tratamento via POAE para o corante alimentício verde rápido é eficiente e pode ser aplicado. Para aumento de volume de tratamento novos estudos devem ser realizados.

AGRADECIMENTOS

À FADE/UFPE e à FACEPE.

REFERÊNCIAS

1. LIN, J. *et al*. Environmental impacts and remediation of dye-containing wastewater. *Nature Reviews Earth & Environment*, v. 4, n. 11, p. 785–803, 2023. DOI: 10.1038/s43017-023-00489-8.
2. INNOCENZI, V.; COLANGELI, A.; PRISCIANDARO, M. Advanced oxidation process for the removal of dyes from synthetic industrial wastewaters. *Desalination and Water Treatment*, v. 259, p. 315–320, 2022. DOI: 10.5004/dwt.2022.28629.
3. AMCHOVA, P.; SISKA, F.; RUDA-KUCEROVA, J. Food safety and health concerns of synthetic food colors: an update. *Toxics*, v. 12, n. 7, p. 466, 2024. DOI: 10.3390/toxics12070466.
4. IQBAL, A. *et al*. Insight into the degradation of different classes of dyes by advanced oxidation processes: a detailed review. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, v. 104, n. 17, p. 5503–5537, 2024. DOI: 10.1080/03067319.2022.2125312.
5. GUO, K. *et al*. UV/chlorine process: an efficient advanced oxidation process with multiple radicals and functions in water treatment. *Accounts of Chemical Research*, v. 55, n. 3, p. 286-297, 2022.
6. MANNA, M.; SEN, S. Advanced oxidation process: a sustainable technology for treating refractory organic compounds present in industrial wastewater. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 30, n. 10, p. 25477-25505, 2023.
7. BRILLAS, E.; SIRÉS, I.; OTURAN, M. A. Electro-Fenton process and related electrochemical technologies based on Fenton's reaction chemistry. *Chemical Reviews*, v. 109, n. 12, p. 6570–6631, 2009. DOI: 10.1021/cr900136g
8. MAGDALENO, A. L. *et al*. Comparison of electrochemical advanced oxidation processes for the treatment of complex synthetic dye mixtures. *Separation and Purification*

Technology, v. 345, p. 127295, 2024. DOI: 10.1016/j.seppur.2024.127295.
9. FU, R. *et al*. Wastewater treatment by anodic oxidation in electrochemical advanced oxidation process: advance in mechanism, direct and indirect oxidation detection methods. *Chemosphere*, v. 311, p. 136993, 2023.
10. NICHELA, D. *et al*. Degradation kinetics of hydroxy and hydroxynitro derivatives of benzoic acid by fenton-like and photo-fenton techniques: a comparative study. *Applied Catalysis B: Environmental*, v. 98, n. 3–4, p. 171–179, 2010.
11. CHAN, K. H.; CHU, W. Modeling the reaction kinetics of Fenton's process on the removal of atrazine. *Chemosphere*, v. 51, n. 4, p. 305–311, 2003. DOI: 10.1016/S0045-6535(02)00882-7.
12. BARBOZA, D. A. P.; MERLO, A. A.; PAZINATOA, M. S. Plano orientador "Grupos cromóforos e sua relação com a cor": produto educacional para uma abordagem experimental investigativa da Química Orgânica no Ensino Médio. *Revista Virtual de Química*, v. 13, n. 3, p. 650-660, 2021.
13. KHAN, H. *et al*. Multiple design and modelling approaches for the optimisation of carbon felt electro-Fenton treatment of dye laden wastewater. *Chemosphere*, v. 338, p. 139510, 2023.

EMPREGO DE OXIDAÇÃO ANÓDICA NO ESTUDO DA DEGRADAÇÃO DA MISTURA DE CORANTES ALIMENTÍCIOS AMARELO CREPÚSCULO E ROXO AÇAÍ

USE OF ANODIC OXIDATION IN THE STUDY OF DEGRADATION OF THE FOOD COLORING MIXTURE TWILIGHT YELLOW AND AÇAÍ PURPLE

DOI: 10.65747/conali2025v3c35

Lívia Barros Silva[1]; Eccilha Franciely Gadelha Seabra de Lima[2]; Alex Leandro Andrade de Lucena[3]; Vanessa de Oliveira Marques Cavalcanti[4]; Marta Maria Duarte[5]; Daniella Carla Napoleão[6].

[1]Estudante do Curso de Engenharia de Alimentos - DEQ - UFPE; [2]Estudante do Curso de Engenharia de Alimentos - DEQ - UFPE; [3]Doutor em Engenharia Química, UFPE; [4]Doutoranda pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Química, UFPE; [5]Docente em Engenharia Química, UFPE; [6]Docente em Engenharia Química, UFPE.
Contato: livia.barros@ufpe.br

Resumo: O crescimento urbano e industrial intensifica a poluição hídrica por efluentes contendo poluentes orgânicos persistentes (POP), como os corantes utilizados na indústria alimentícia, que possuem toxicidade e ~~a~~ baixa biodegradabilidade. Dessa forma, faz-se necessário a utilização de técnicas eficazes para o tratamento de efluentes que contém esses tipos de contaminantes. Desse modo, esse estudo visa tratar uma mistura de corantes alimentícios (amarelo crepúsculo e roxo-açaí) em solução aquosa pelo processo eletroquímico de oxidação anódica empregando o par de eletrodos de grafite (cátodo) e cobre (ânodo) e KCl como eletrólito. Parâmetros como voltagem, concentração de eletrólito e distância entre eletrodos foram investigados sequencialmente em tratamentos de 60 min. A quantificação foi feita por espectrofotometria de absorção molecular na região do UV/Vis, e os resultados avaliados pelo percentual de degradação. Além disso, os dados experimentais foram ajustados ao modelo cinético proposto por Chan e Chu. A partir dos resultados, observou-se que o processo de oxidação anódica conseguiu promover a degradação dos compostos, através de uma cinética de degradação de pseudo-primeira ordem.

Palavras–chave: estudo cinético; poluentes orgânicos persistentes (POP); oxidação anódica;

Abstract: Urban and industrial growth intensifies water pollution from effluents containing persistent organic pollutants (POPs), such as dyes used in the food industry, which present toxicity and low biodegradability. Therefore, it is necessary to use effective techniques for the treatment of effluents containing these types of contaminants. In this context, this study aims to treat a mixture of food dyes (Sunset Yellow and Açaí Purple) in aqueous solution through the electrochemical process of anodic oxidation, using a graphite (cathode) and copper (anode) electrode pair, with KCl as the electrolyte. Parameters such as voltage, electrolyte concentration, and distance between electrodes were investigated sequentially in 60-minute treatments. Quantification was performed by molecular absorption spectrophotometry in the UV/Vis region, and the results were evaluated by degradation percentage. Furthermore, the experimental data were fitted to the kinetic model proposed by Chan and Chu. Based on the results, it was observed that the anodic oxidation process was able to promote the degradation of the compounds, following pseudo-first-order degradation kinetics.

Keywords: kinetic study; persistent organic pollutants (POPs); anodic oxidation;

INTRODUÇÃO

Desde a primeira revolução industrial, o crescimento urbano e populacional aumentou a demanda por água e a geração de efluentes, pressionando tanto a disponibilidade quanto a qualidade dos recursos hídricos globais. Fatores socioeconômicos, como expansão industrial e infraestrutura sanitária insuficiente, intensificam o lançamento de poluentes em rios e lagos, comprometendo seu uso para consumo, irrigação e preservação de ecossistemas. Esse cenário evidencia a necessidade urgente de estratégias de controle de poluição e de gestão sustentável dos recursos hídricos (1, 2).

Dentro desse contexto, existe uma preocupação relacionada com a grande geração de águas residuárias advindas de atividades industriais. Em especial, resíduos gerados pelo setor alimentício, caracterizados pelo alto volume e teor de carga orgânica, além da presença de corantes sintéticos cuja descarga sem o tratamento adequado aumenta a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e libera compostos tóxicos, resultando na diminuição do oxigênio dissolvido e no desequilíbrio dos ecossistemas aquáticos (3).

A produção de corantes sintéticos atinge hoje mais de um milhão de toneladas anuais, com mais de 100 000 compostos já descritos, dos quais menos da metade é biodegradável e solúvel, enquanto o restante persiste no ambiente aquático pela sua toxicidade e resistência à degradação. Esses corantes fazem parte dos Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs) e são amplamente usados não só na indústria de alimentos, mas também na têxtil, farmacêutica e cosmética, o que eleva o risco de contaminação de águas residuárias e reforça a urgência de tratamentos avançados capazes de remover esses compostos refratários (4).

Além dos riscos ecológicos, como aumento da DBO e desequilíbrio dos ecossistemas, o uso crescente de corantes alimentícios está associado a efeitos adversos à saúde humana (distúrbios gástricos, reações alérgicas, problemas respiratórios e potencial carcinogênico). No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433/1997) e as resoluções CONAMA 357/2005 e CONAMA 430/2011 estabelecem diretrizes para a qualidade da água e padrões de lançamento de efluentes, visando garantir que essas substâncias sejam lançadas nos corpos receptores somente após tratamento conforme os critérios legais (5, 6).

Considerando que parte significativa desses corantes é tratada em estações convencionais de tratamento de efluentes, por métodos físico, químicos ou biológicos insuficientes para a degradação completa de poluentes orgânicos persistentes. Se faz necessário buscar alternativas mais eficazes para tal, entre as existentes se destacam os processos oxidativos avançados (POA), especialmente os eletroquímicos (POAE) (7, 8).

Os processos oxidativos avançados (POA) englobam tratamentos físico-químicos que geram espécies altamente reativas de oxigênio *in situ*, em especial os radicais hidroxila (•OH), a

partir da combinação da presença de radiação ultravioleta, catalisadores e H_2O_2. Estes radicais reagem de forma não-seletiva com múltiplos tipos de poluentes orgânicos persistentes, sendo capazes de promover a degradação e mineralização destes (9).

Nos POA eletroquímicos, como a oxidação anódica e o processo eletro-Fenton, essa formação de oxidantes ocorre diretamente na superfície ou na interface de contato entre os eletrodos presentes e a solução em tratamento. Diferentemente dos POA convencionais, não há a necessidade de suprimento contínuo de reagentes, além de possibilitarem o controle preciso de variáveis como tensão, densidade de corrente, pH, o que as torna especialmente adequadas para efluentes industriais refratários (10).

Na oxidação anódica, a degradação de poluentes ocorre diretamente na superfície do ânodo, onde a aplicação de um potencial elétrico suficiente gera os radicais hidroxila (•OH) a partir da água e de espécies presentes no eletrólito. O controle de parâmetros como a voltagem, a densidade de corrente, do potencial aplicado e da composição do eletrólito é essencial para otimizar o rendimento de mineralização sem a necessidade de reagentes químicos externos (11, 12).

Fatores como o tipo de eletrodo e de eletrólito utilizados no processo também são fundamentais para o seu rendimento. Eletrodos de grafite são amplamente utilizados para oxidação anódica devido às suas propriedades físico-químicas favoráveis, como boa condutividade elétrica, alta estabilidade química em ambientes oxidantes e custo relativamente baixo. Sua estrutura lamelar facilita a transferência de carga e a adsorção de espécies orgânicas na superfície, o que pode favorecer tanto reações diretas quanto a geração de oxidantes indiretos no meio, sendo eficazes na degradação de poluentes orgânicos persistentes, como corantes sintéticos (13).

Além disso, quando combinados com eletrólitos contendo cloretos (como o KCl), os eletrodos de grafite contribuem para a formação de oxidantes secundários, como ácido hipocloroso e íons hipoclorito, conforme Equações de 1 a 7, que complementam a ação direta da oxidação eletroquímica.

$$2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^- \quad (1)$$

$$Cl_2 + 2H_2O \rightarrow HClO + H_3O^+ + Cl^- \quad (2)$$

$$HClO + H_2O \rightarrow H_3O^+ + ClO^- \quad (3)$$

$$Cl^- + \bullet OH \rightarrow ClO^- + H^+ + e^- \quad (4)$$

$$ClO^- + \bullet OH \rightarrow ClO_2^- + H^+ + e^- \quad (5)$$

$$ClO_2^- + \bullet OH \rightarrow ClO_3^- + H^+ + e^- \quad (6)$$

$$ClO_3^- + \bullet OH \rightarrow ClO_4^- + H^+ + e^- \quad (7)$$

Contudo, é importante observar que o grafite pode sofrer desgaste ao longo do tempo, especialmente em processos prolongados ou sob alta densidade de corrente, o que limita sua vida útil em alguns sistemas. Ainda assim, seu uso se mantém popular em aplicações laboratoriais e em tratamentos de baixo custo devido à sua versatilidade e eficiência comprovada (13, 14).

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo tratar a mistura aquosa de 2 corantes alimentícios, o amarelo crepúsculo (AC, $C_{16}H_{10}N_2Na_2O_7S_2$), corante do tipo azo com coloração amarela-alaranjada e o roxo-açaí, mistura composta pelos corantes vermelho bordeaux (VB, $C_{20}H_{15}N_2Na_2O_7$) e azul brilhante (AB, $C_{37}H_{34}N_2Na_2O_9S_3$), utilizando o processo de oxidação anódica.

MATERIAIS E MÉTODOS

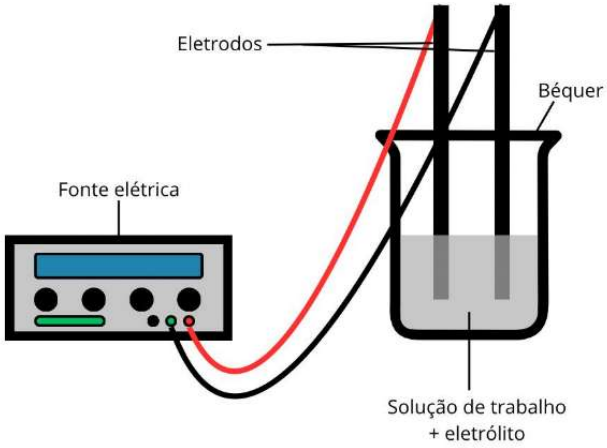
Solução de trabalho

Para a realização das análises dos analitos estudados neste trabalho, foi preparada uma solução aquosa a partir da mistura dos corantes alimentícios amarelo-crepúsculo (AC) e roxo-açaí (RA) a uma concentração de 10 $mg.L^{-1}$ de cada. Em seguida, foi feita uma varredura espectral em um espectrofotômetro de absorção molecular na região do ultravioleta/visível (UV/Vis) (*Thermo Scientific*) de 200 a 800 nm afim de determinar os comprimentos de onda associados à mistura em estudo. Posteriormente, foram construídas curvas analíticas com faixa linear de 1 a 15 $mg.L^{-1}$.

Estudo de degradação

Foi utilizado um sistema eletroquímico composto por um béquer com capacidade de 200 mL, uma fonte de alimentação (Manipa) e eletrodos de grafite (cátodo) e cobre (ânodo), conforme demonstrado na Figura 1. Além disso, foi utilizado como eletrólito, o cloreto de potássio, KCl.

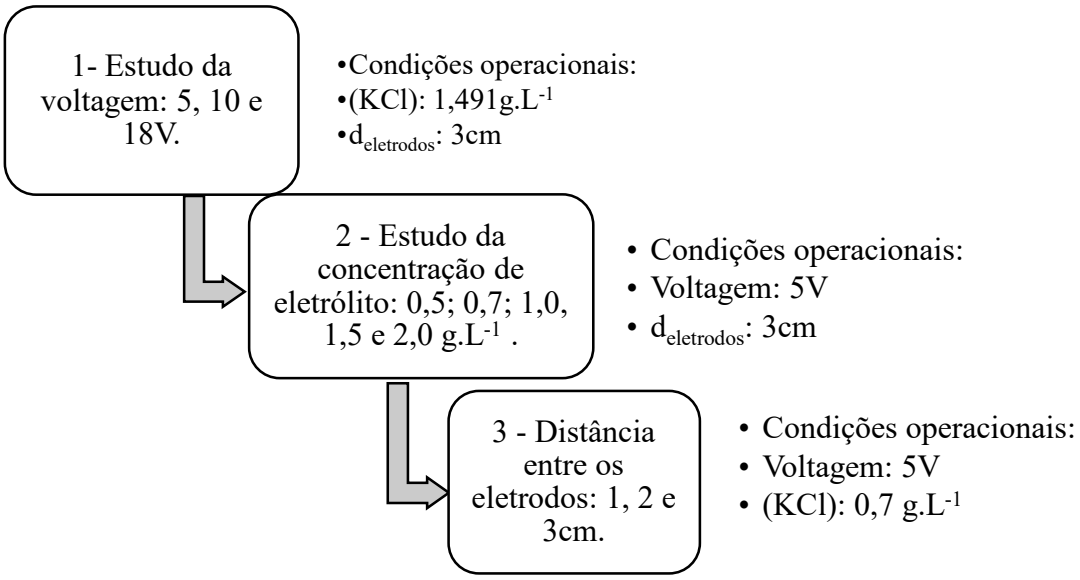
Figura 1 – Esquema do sistema eletroquímico de oxidação anódica.



Fonte: os Autores (2025).

De modo a obter a melhor condição de trabalho, diferentes parâmetros operacionais foram estudados de forma sequencial, Figura 2, sendo eles: voltagem, concentração de eletrólito e distância entre os eletrodos. O tratamento foi realizado por um período de 60 min, após o qual foi realizada a quantificação via espectrofotometria de ultravioleta/visível. Por fim, os dados experimentais foram avaliados por meio do percentual de degradação.

Figura 2 – Esquema da sequência dos parâmetros operacionais estudados.



Fonte: os Autores (2025).

Estudo da cinética de degradação

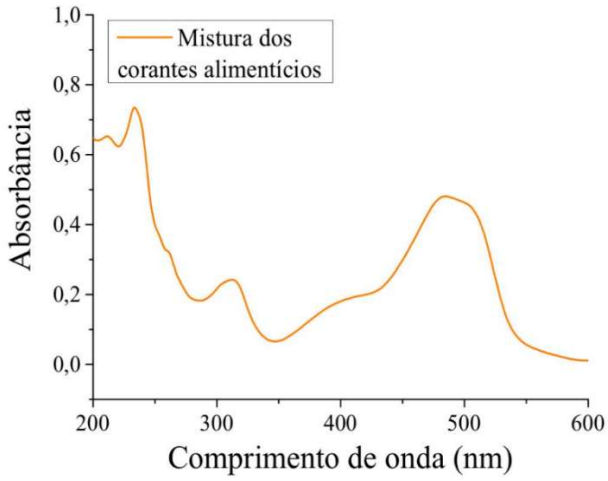
Definidas as melhores condições para cada variável estudada, procedeu-se com a avaliação cinética da degradação dos corantes via oxidação anódica. Para isso, foi feito um acompanhamento cinético com retiradas de alíquotas de 5 mL nos tempos de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 45, 60, 75, 90, 120, 150 e 180 min. Os dados experimentais foram avaliados quanto ao ajuste ao modelo cinético proposto por Chan e Chu (15).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Solução de trabalho

Para avaliar os comprimentos de onda característicos da mistura aquosa dos corantes alimentícios foi realizada uma varredura espectral entre 200 nm e 800 nm. O espectro obtido, revelou a presença de três comprimentos de onda característicos (λ), 234, 312 e 484 nm, como pode ser verificado na Figura 3.

Figura 3 – Espectro de absorção da mistura dos corantes amarelo crepúsculo e roxo açaí.



Fonte: os Autores (2025).

Conforme apresentado na Figura 3, verifica-se os picos de 234 e 312nm picos na região do ultravioleta e 484nm na região do visível. Dessa forma, os picos na região do ultravioleta estão relacionados aos anéis aromáticos presentes nos corantes e o pico na região do visível relacionam-se com os grupos cromóforos presentes na molécula do corante. A importância do acompanhamento desses picos de comprimento de onda relaciona-se a verificação de quebra dessas moléculas e a degradação desses compostos durante o experimento. Além disso, também foram elaboradas as curvas analíticas referentes aos comprimentos de onda (λ) detectados, assim

foi aferido através do coeficiente linear, r, a linearidade do método, estando dessa forma, de acordo com as exigências previstas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária conforme a Resolução da diretoria colegiado (RDC) nº 166 de 2017.

Estudo de degradação

No estudo da degradação da mistura aquosa dos corantes foi avaliado a contribuição da voltagem no sistema eletroquímico. Foram avaliadas três diferentes voltagens, 5V, 10V e 18V, a fim de verificar a mais eficiente para degradação da mistura de corantes. Os resultados para a análise das voltagens estão expostos na Tabela 1.

Tabela 1 – Efeito da voltagem do sistema na degradação da mistura de corantes após 60 min de tratamento por oxidação. Condições experimentais: 3 cm de distância entre os eletrodos, 1,0 cm de profundidade (grafite) e 2,75 cm (cobre), 200 mL de volume da solução e 10 $mg.L^{-1}$ de concentração inicial dos corantes.

Voltagem (V)	**Degradação (%)**		
	234 nm	**312 nm**	**484 nm**
18	55,33	34,74	99,65
10	47,62	53,77	99,57
5	68,40	57,81	99,27

Fonte: Autores, 2025

Conforme apresentado na Tabela 1, os valores percentuais para a degradação da mistura de corantes não apresentaram diferença significativa para o comprimento de onda de 484 nm ao se alterar a voltagem do sistema. Porém, o mesmo não foi identificado para 234 nm e 312 nm, com 5V apresentando os maiores valores de degradação.

Isso ocorreu tendo em vista que a 5V, existe energia suficiente no sistema para a geração de espécies oxidantes, como os radicais hidroxila, (•OH), promovendo a degradação da solução aquosa dos corantes. Porém ao se fornecer quantidades maiores de energia, aumentando a voltagem, se ultrapassa excessivamente do potencial padrão de oxidação da água, 1,23V, causando eletrólise excessiva da água, o que libera O_2 no ânodo e H_2 no cátodo a partir de reações paralelas, reduzindo a disponibilidade de radicais hidroxila no sistema de forma a reagir com a mistura de corantes os degradando (16).

Já a ausência de variação na degradação observada em 484 nm está relacionada à alta suscetibilidade dos cromóforos à ação dos radicais hidroxila. Estes conseguem atacar com eficácia as ligações azo (–N=N–), comuns em corantes visíveis com absorbância em torno de 480–500 nm, promovendo degradação rápida e quase completa, mesmo sob voltagens mais baixas. Consequentemente, pequenas variações de tensão não alteram significativamente os valores de remoção, já que a degradação já ocorre com alta eficiência desde estágios iniciais (17, 18).

Em seguida foi realizado o estudo da massa adequada de eletrólito, isso porque o eletrólito contribui diretamente na mediação e condutividade elétrica da solução, levando a presença de íons

no sistema. O sal utilizado nesse estudo foi o KCl, sal esse que não contribui diretamente na degradação da mistura de corantes, mas que auxiliou na melhora do fluxo de corrente sob uma menor resistência, facilitando o transporte de carga e o K^+ tem papel de manter a estabilização da solução eletrolítica. Os resultados desta etapa estão presentes na Tabela 2.

Tabela 2 – Efeito da concentração de eletrólito no sistema na degradação da mistura de corantes após 60 min de tratamento por oxidação. Condições experimentais: 5 V de voltagem, 3 cm de distância entre os eletrodos, 1,0 cm de profundidade (grafite) e 2,75 cm (cobre), 200 mL de volume da solução e 10 $mg.L^{-1}$ de concentração inicial dos corantes.

Concentração de eletrólito ($g.L^{-1}$)	**Degradação (%)**		
	234 nm	**312 nm**	**484 nm**
0,5	22,60	37,39	52,72
0,7	40,21	65,34	86,62
1,0	33,55	45,32	66,72
1,5	38,50	61,24	81,16
2,0	34,13	53,54	72,29

Fonte: Autores, 2025

Da Tabela 2 nota-se que a concentração de 0,7 $g.L^{-1}$ de KCl proporcionou os melhores resultados de degradação em todos os comprimentos de onda analisados. Esse comportamento pode ser atribuído a uma condutividade elétrica ótima, que promove maior eficiência na geração de espécies oxidantes, como os radicais hidroxila (•OH) e espécies de cloro ativo (Cl_2, HOCl), sem provocar efeitos colaterais indesejados (19).

Em concentrações menores, como 0,5 $g.L^{-1}$, a baixa disponibilidade iônica limita a transferência energética do sistema e consequentemente a geração dos radicais hidroxila. Por outro lado, concentrações mais elevadas, ≥ 1,0 $g.L^{-1}$, não necessariamente favorecem o processo, como observado na Tabela 2. Estas podem levar a um aumento excessivo da densidade iônica, favorecendo reações paralelas e a formação de espécies secundárias menos seletivas que o •OH, o que reduz a eficiência do processo. Estes resultados são coerentes com outros estudos que apontam a existência de uma concentração ótima do eletrólito para maximizar a eficiência da degradação em sistemas de oxidação eletroquímica (20, 21)

Estabelecidas a voltagem e a massa adequadas para a eficiência do sistema, foi avaliada também a influência da distância entre os eletrodos, sendo eles o par cátodo-ânodo composto por grafite-cobre. Esses eletrodos foram utilizados para degradação da mistura aquosa de corantes devido a viabilidade econômica, disponibilidade, inércia química e atoxicidade, além de exibir alto potencial de evolução para H_2 e baixa atividade catalítica para decomposição de H_2O_2. Os resultados obtidos estão expostos na Tabela 3.

Tabela 3 – Efeito da distância entre os eletrodos no sistema na degradação da mistura de corantes após 60 min de tratamento por oxidação. Condições experimentais**:** 5 V de voltagem, 0,7 $g.L^{-1}$ de KCl , 1,0 cm de profundidade (grafite) e 2,75 cm (cobre), 200 mL de volume da solução e 10 $mg.L^{-1}$ de concentração inicial dos corantes.

Distância entre os eletrodos (cm)	**Degradação (%)**		
	234 nm	**312 nm**	**484 nm**
1,0	47,44	79,39	88,08
2,0	35,10	55,23	72,02
3,0	41,20	65,52	86,65

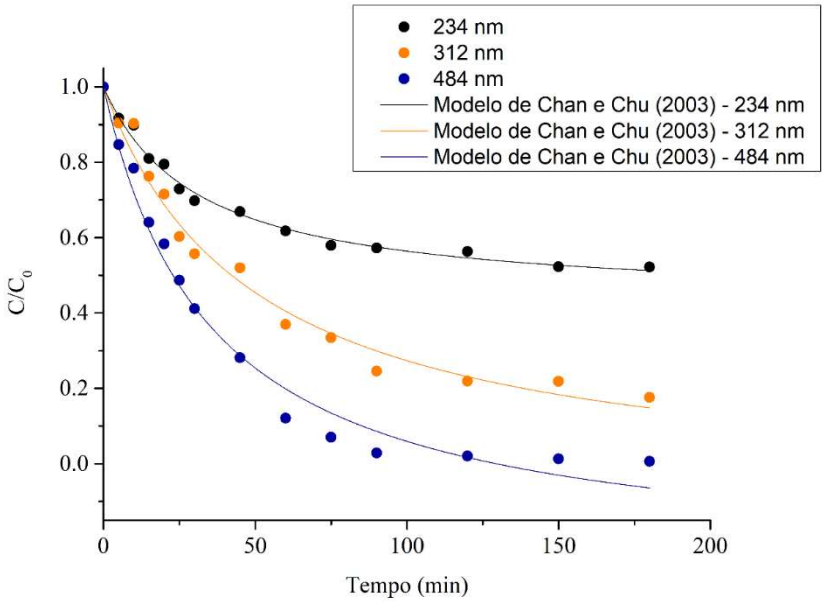
Fonte: Autores, 2025

Analisando a Tabela 3, percebe-se que entre as medidas estudadas, a distância de 1,0 cm entre os eletrodos foi a mais eficiente na degradação da mistura de corantes, apresentando valores significativos para os picos de comprimento de onda estudados. Resultado semelhante foi observado por Thor *et al.* (22) que avaliaram a distância e a configuração dos eletrodos para tratamento de corantes. Os autores, notaram que o aumento da degradação de cor ocorreu com a diminuição da distância entre os eletrodos. O aumento da distância entre os eletrodos pode ter promovido uma restrição na transferência de massa de H^+ entre os eletrodos, ou seja, quando a distância entre os eletrodos é menor, os prótons produzidos na área anódica durante a oxidação percorrem uma distância menor para atingir o cátodo e garantir a redução do oxigênio, e assim gerar H_2O_2. Por outro lado, se a distância for grande, a transferência dos prótons é atrasada, aumentando eventualmente a resistência interna devido a disponibilidade mais lenta de prótons e consequentemente, diminuindo a eficiência do processo (23).

Estudo da cinética de degradação

De posse das condições operacionais que proporcionaram as maiores eficiências de degradação, foi realizado um estudo cinético, aumentando o tempo de degradação até 180 min. Os dados de degradação obtidos para os três comprimentos de onda estudados foram avaliados frente ao modelo cinético de pseudo-primeira ordem proposto por Chan e Chu (15), conforme pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 – Cinética de degradação da solução de corantes empregando POAE oxidação anódica por 180min.



Fonte: os Autores (2025).

Os perfis cinéticos presentes na Figura 4 permitiram verificar o impacto das variáveis otimizadas ao se estender o processo de degradação até 180 min. Sendo observados valores de degradação de 47,8% para 234 nm, 82,4% para 312 nm e 99,4% para 484 nm.

O ajuste ao modelo cinético proposto por Chan e Chu (15), seus parâmetros, os valores da taxa de degradação (1/ρ) e da capacidade oxidativa (1/σ), além dos valores dos coeficientes de regressão linear (R^2) e da soma residual dos quadrados (S_R^2), que estão expostos na Tabela 4.

Tabela 4 – Parâmetros do ajuste ao modelo proposto por Chan e Chu (15) para degradação dos corantes RA e AC via POAE. Condições: 5V de voltagem, 0,7 g.L^{-1} de KCl, 1,0 cm de profundidade (grafite) e 2,75 cm (cobre), 200 mL de volume da solução e 10 mg.L^{-1} de concentração inicial dos corantes.

λ (nm)	**Degradação após 180min**	**Modelo de Chan e Chu (15)**			
		$\frac{1}{\rho}$ (min^{-1})	$\frac{1}{\sigma}$	R^2	S_R^2
234	**47,8%**	0,0185	0,5314	0,9890	0,0026
312	**82,4%**	0,0219	1,086	0,9811	0,0015
484	**> 99,4%**	0,0360	1,019	0,9815	0,0022

Fonte: Autores, 2025.

A partir da Tabela 4 é possível verificar que o modelo cinético de pseudo-primeira ordem de Chan e Chu (15) descreve bem a degradação da mistura de corantes RA e AC pelo processo de oxidação anódica em 180 min de tratamento, com valores de R^2 superiores a 0,98 para todos os comprimentos de onda avaliados.

A análise da taxa de degradação corrobora com os resultados obtidos, com a maior delas sendo observada para 484 nm. Já as capacidades oxidativas indicam a tendência a degradação em cada um com comprimento de onda avaliados, com 312 nm mostrando o maior valor encontrado. O que permite assumir que aumentando-se ainda mais o tempo de reação, poderia ser possível atingir valores superiores a 82% para 312 nm (15).

CONCLUSÕES

A degradação da mistura de corantes RA e AC, em solução aquosa, pelo processo de oxidação anódica composto por um arranjo de eletrodos de grafite (cátodo) e cobre (ânodo), com adição de cloreto de potássio como eletrólito apresentou resultados satisfatórios em 60 min de degradação, operando a 5V, com concentração de 0,7 $g.L^{-1}$ de cloreto de potássio e com uma distância de 1cm entre os eletrodos.

Aumentando-se o tempo de degradação da mistura de corantes para 180 min durante o ensaio de cinética com os parâmetros operacionais fixados nas melhores condições, foram observadas degradações da ordem de 47,8% para 234 nm, 82,4% para 312 nm e 99,4% para 484 nm. Além disso, foi possível verificar que o modelo de pseudo-primeira ordem de Chan e Chu (15) descreveu bem o comportamento da mistura de corantes RA e AC, obtendo-se valores de R^2 superiores a 0,98.

AGRADECIMENTOS

À FADE/UFPE e à FACEPE.

REFERÊNCIAS

1. CERQUEIRA, T. C. et al. Effects of urbanization on water quality in a watershed in northeastern Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, Dordrecht, v. 192, p. 65, 2020. DOI: 10.1007/s10661-019-8020-0. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10661-019-8020-0. Acesso em: 18 jul. 2025.
2. LIU, Z. et al. Scarcity and quality risks for future global urban water supply. Landscape Ecology, Dordrecht, v. 39, p. 10, 2024. DOI: 10.1007/s10980-024-01832-0. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10980-024-01832-0. Acesso em: 18 jul. 2025.

3. PERVEZ, M. N. et al. Sustainable treatment of food industry wastewater using membrane technology: a short review. *Water*, Basel, v. 13, n. 23, p. 3450, 2021.
4. SEN, S. K.; RAUT, S.; RAUT, S. Mycoremediation of anthraquinone dyes from textile industries: a minireview. *Biotechnologia*, Poznań, v. 104, n. 1, p. 85–91, 2023.
5. MILLER, M. D. et al. Potential impacts of synthetic food dyes on activity and attention in children: a review of the human and animal evidence. *Environmental Health*, London, v. 21, p. 45, 2022.
6. OLIVEIRA, Z. B. et al. Synthetic Colors in Food: A Warning for Children's Health. International Journal of Environmental Research and Public Health, Basel, v. 21, n. 6, p. 682, 2024.
7. GANIYU, S. O.; MARTÍNEZ-HUITLE, C. A. Electrochemical advanced oxidation processes for wastewater treatment: Advances in formation and detection of reactive species and mechanisms. *Current Opinion in Electrochemistry*, Amsterdam, v. 21, p. 100678, 2020.
8. LEE, K. M. et al. Electrochemical oxidation processes for the treatment of organic pollutants in water: Performance evaluation using different figures of merit. *ACS ES&T Engineering*, Washington, DC, v. 2, n. 10, p. 1797–1824, 2022.
9. SATYAM, S.; PATRA, S. The evolving landscape of advanced oxidation processes in wastewater treatment: Challenges and recent innovations. *Processes*, Basel, v. 13, n. 4, p. 987, 2025.
10. FRIGULIO, M. A. P.; VALÉRIO, A. S.; FORTI, J. C. An Overview of Electrochemical Advanced Oxidation Processes for Pesticide Removal. Processes, v. 13, n. 7, art. 2227, 2025.
11. OTURAN, M. A.; AARON, J. J. Advanced oxidation processes in water/wastewater treatment: Principles and applications. A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, Abingdon, v. 44, n. 23, p. 2577–2641, 2014.
12. DEHVARI, M.; JAMSHIDI, B.; MANSUROVNA, B. A.; BABAEI, A. A.; JORFI, S. Enhancement the stability of the titanium/graphite photo electrode in varying voltages for treatment of textile wastewater using reactive blue 19 as the model contaminant. *Scientific Reports*, (S. l.), v. 15, n. 14446, 25 abr. 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41598-025-97692-y. Acesso em: 18 jul. 2025.
13. MARTÍNEZ-HUITLE, C. A.; BRILLAS, E. Decontamination of wastewaters containing synthetic organic dyes by electrochemical methods: A general review. *Applied Catalysis B: Environmental*, Amsterdam, v. 87, n. 3–4, p. 105–145, 2009.
14. RAJKUMAR, D.; PALANIVELU, K. Electrochemical treatment of industrial wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, (S. l.), v. 113, n. 1–3, p. 123–129, 2004.
15. CHAN, K. H.; CHU, W. Modeling the reaction kinetics of Fenton's process on the removal of atrazine. *Chemosphere*, v. 51, n. 4, p. 305-311, 2003.
16. NAJAFINEJAD, M. S.; CHIANESE, S.; FENTI, A.; IOVINO, P.; MUSMARRA, D. Application of electrochemical oxidation for water and wastewater treatment: an overview. Preprints, (S. l.), v. 202304.0615, 20 abr. 2023. Disponível em: https://www.preprints.org/manuscript/202304.0615. Acesso em: 18 jul. 2025.
17. SCHROEDER, C. M.; KOEHLER, T. M.; LEADBEATER, N. E. Real-time in situ monitoring as a tool for comparison of electrochemical advanced oxidation processes for the decolourisation of azo and indigoid dyes. *RSC Advances*, Cambridge, v. 14, n. 52, p. 38385–38390, 2024. Disponível em: https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2024/ra/d4ra07657e. Acesso em: 18 jul. 2025.
18. ALAM, M. M.; DAS, A.; ADAK, A. Hydroxyl and sulfate radicals-based electrochemical advanced oxidation process for treating dye-bearing wastewater – A review. *Water Practice & Technology*, London, v. 19, n. 12, p. 4816–4838, 12 nov. 2024.
19. SUNDARAPANDIYAN, S. et al. Mechanistic insight into active chlorine species mediated electrochemical degradation of recalcitrant phenolic polymers. *RSC Advances*, Cambridge, v. 4, n. 104, p. 59821–59830, 2014. Disponível em: https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2014/ra/c4ra09069a. Acesso em: 18 jul. 2025.

20. QIAN, Y. et al. Performance optimization and toxicity effects of the electrochemical oxidation of octogen. *Catalysts*, (S. l.), v. 12, n. 8, p. 815, 2022.
21. ALKHADRA, M. A. et al. Electrochemical Methods for Water Purification, Ion Separations, and Energy Conversion. *Chemical Reviews*, v. 122, n. 16, p. 13547–13635, 29 jul. 2022.
22. THOR, S. H. et al. Discovering the roles of electrode distance and configuration in dye degradation and electricity generation in photocatalytic fuel cell integrated electro-Fenton process. *Separation and Purification Technology*, Amsterdam, v. 278, p. 119652, 2021.
23. SANGEETHA, T.; MUTHUKUMAR, M. Influence of electrode material and electrode distance on bioelectricity production from sago-processing wastewater using microbial fuel cell. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, Hoboken, v. 32, n. 2, p. 390-395, 2013.

ESTUDO DA DEGRADAÇÃO DE CORANTES ALIMENTÍCIOS POR MEIO DE PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS CLÁSSICOS

FROM COLORFUL TO TRANSPARENT: STUDY OF DYE DEGRADATION THROUGH ADVANCED OXIDATIVE PROCESSES

DOI: 10.65747/conali2025v3c36

Eccilha Franciely Gadelha Seabra de Lima[1], Livia Barros Silva[2], Vanessa de Oliveira Marques Cavalcanti [3], Alex Leandro Andrade de Lucena[4], Daniella Carla Napoleão[5]

[1]Estudante do Curso de Engenharia de Alimentos - DEQ - UFPE, eccilhaf@gmail.com;

[2]Estudante do Curso de Engenharia de Alimentos - DEQ - UFPE, livia.barros@ufpe.br;

[3]Doutoranda pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Química, UFPE, vanessaom.cavalcanti@ufpe.br;

[4]Doutor em Engenharia Química, UFPE, lucenaalex3@gmail.com;

[5]Docente em Engenharia Química, UFPE, daniella.napoleao@ufpe.br.

Resumo: A água é um recurso natural essencial para a vida humana, a procura por água potável, aliada à intensificação da poluição dos recursos hídricos, torna cada vez mais desafiador garantir o fornecimento de água de qualidade para a população. A presença de corantes oriundos dos resíduos gerados pelas indústrias alimentícias, acaba apresentando altas concentrações de matéria orgânica e forte coloração. Dentre as alterações causadas, a principal é a inibição da passagem de luz solar, que afeta no teor do oxigênio dissolvido representando uma das principais fontes de poluição dos corpos d'água. Entre esses corantes estão o amarelo crepúsculo e roxo açaí, que quando descartados de forma incorreta, podem causar efeitos tóxicos em organismos aquáticos e riscos à saúde humana. Neste sentido, este trabalho visa avaliar a eficiência da degradação da mistura dos corantes roxo açaí e amarelo crepúsculo empregando diferentes processos oxidativos avançados (POA). Após realizar testes com diferentes métodos, constatou-se que o processo foto-Fenton apresentou o melhor resultado, conseguindo degradar completamente os grupos cromóforos. A partir dos resultados, observou-se que o processo foto-Fenton/UV-C a cinética de degradação dos compostos seguiu um perfil de pseudo primeira ordem, adequando-se ao modelo proposto por Chan e Chu. No que diz respeito as análises de toxicidade, nenhuma das soluções analisadas apresentaram diminuição nos índices de germinação e de crescimento radicular das sementes de alface, indicando que o tratamento empregado conduziu a uma amostra não tóxica para este organismo.

Palavras–chave: Foto-Fenton; POA; Tratamento de efluentes.

Abstract: Water is a natural resource essential to human life. The demand for drinking water, combined with the intensification of water pollution, makes ensuring a quality water supply for the population increasingly challenging. The presence of dyes from waste generated by the food industry results in high concentrations of organic matter and strong coloration. Among the changes caused, the main one is the inhibition of sunlight, which affects dissolved oxygen levels, representing one of the main sources of pollution in water bodies. These dyes include sunset yellow and açaí purple, which, when disposed of improperly, can cause toxic effects on aquatic organisms and pose risks to human health. Therefore, this study aims to evaluate the degradation efficiency of the açaí purple and sunset yellow dye mixture using different advanced oxidative processes (AOPs). After conducting tests with different methods, it was found that the photo-Fenton process presented the best results, managing to completely degrade the chromophore groups. The results showed that the photo-Fenton/UV-C degradation kinetics of the compounds followed a pseudo-first-order profile, consistent with the model proposed by Chan and Chu. Regarding toxicity analyses, none of the solutions analyzed showed a decrease in the germination and root growth rates of lettuce seeds, indicating that the treatment produced a sample that was non-toxic to this organism.

Keywords: AOP; Effluent treatment; Photo-Fenton.

INTRODUÇÃO

Segundo a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 306 de 2002 define-se o meio ambiente como condições químicas, físicas, biológicas e climáticas que permitem abrigar e reger a vida em todas as suas formas, não sendo formado apenas por animais e plantas, mas também por ações antrópicas (1). O crescimento populacional, aliado ao aumento da demanda por alimentos e bens de consumo, faz com que o homem transforme cada vez mais a matéria-prima, gerando quantidades maiores de resíduos, tanto no processo de produção industrial quanto no de consumo. Assim, a poluição ambiental, sobretudo da água, vem sendo identificada como um dos maiores problemas da sociedade moderna, passando a ser um assunto de interesse público, visto que o problema tem se agravado ao longo dos anos, colocando em risco a saúde da comunidade e comprometendo as gerações futuras (2).

A água é um recurso natural essencial para a vida humana e para o desenvolvimento socioeconômico. No entanto, a procura por água potável, aliada à intensificação da poluição dos recursos hídricos, torna cada vez mais desafiador garantir o fornecimento de água de qualidade para a população. A detecção frequente de poluentes orgânicos persistentes (POP) nos diferentes compartimentos ambientais, e em particular nos meios aquáticos, tem levado a uma crescente preocupação devido ao potencial danoso que estas substâncias podem apresentar tanto para o meio ambiente como para a saúde humana. Para garantir a disponibilidade e gestão sustentável da água e do saneamento para todos, quatro anos após a assinatura da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentáveis, os países tomaram medidas para integrar os objetivos e metas em seus planos nacionais de desenvolvimento e alinhar os regulamentos e instituições que os apoiam. A maioria dos países do mundo reconheceu a importância de coordenar melhor o uso dos recursos hídricos e implementar planos integrados para sua gestão (3).

Dentre as principais classes de POP estão: compostos fenólicos, fármacos, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, agrotóxicos e corantes sintéticos (têxteis, sanitizantes e alimentícios). A presença de corantes, oriundos dos resíduos gerados pelas indústrias alimentícias, pode conduzir a produção de efluentes com forte coloração, que pode afetar a passagem de luz solar, que afeta no teor do oxigênio dissolvido disponível nos corpos d'água. Os corantes alimentícios, em sua maioria, são compostos orgânicos utilizados principalmente para realçar a coloração de alimentos e bebidas. Os principais corantes desta classe, são os orgânicos sintéticos artificiais, presentes em alimentos consumidos diariamente. Essawy *et al*. indicam em seu trabalho que aproximadamente 12% dos corantes sintéticos são perdidos durante as operações de fabricação e processamento, onde 20% desses corantes perdidos chegam nas estações de tratamento de efluentes (4).

Como exemplo desses corantes tem-se o amarelo crepúsculo, que ajuda a aumentar a aceitação dos consumidores, sendo utilizado na formulação bebidas, doces e outros alimentos processados, conferindo cor e estabilidade (5). Ele apresenta vantagens como cor mais brilhante, maior estabilidade e menor preço quando comparado aos corantes naturais. Devido às suas características, apresenta resistência aos tratamentos convencionais aplicados em estações de tratamento de efluentes (ETE). O roxo açaí é uma mistura composta pelos corantes vermelho bordeaux (VB, $C_{20}H_{15}N_2Na_2O_7S_2$) e azul brilhante (AB, $C_{37}H_{34}N_2Na_2O_9S_3$), sendo o VB proibido em países como Estados Unidos da América, Japão, Canadá, Noruega e Finlândia devido sua toxicidade (6).

De modo geral existem diversos mecanismos para tratamento de poluentes, que podem ser classificados em três naturezas distintas: física, química e biológica. Os POP são resistentes aos tratamentos convencionais, sendo assim, outros métodos estão sendo estudados como uma alternativa aos processos físico-químicos e biológicos, ou como um processo complementar para aumentar a degradação dos poluentes. Os processos oxidativos avançados (POA) são tratamentos capazes de mineralizar os poluentes, convertendo-os a água, dióxido de carbono e sais inorgânicos (7).

Os POA vem reduzindo os impactos ambientais de radicais hidroxilas, podem ser divididos em dois grupos, os que envolvem reações heterogêneas, na presença de catalisadores sólidos metálicos, e os que envolvem reações homogêneas, como os processos que utilizam H_2O_2, radiação visível ou UV e uso de O_3(8). Existem diversos tipos de POA, que podem ser divididos de diferentes formas (homogêneos e heterogêneos; fotolíticos e não fotolíticos) sendo os mais conhecidos Fenton, foto-Fenton e a fotoperoxidação.

A utilização de corantes alimentícios vai além da indústria alimentícia, esses corantes servem como aditivos em uma ampla gama de produtos, incluindo suco de laranja, geleia de laranja, rocambole suíço, geleia de damasco e outros. Sua prevalência também se estende a confeitaria, sobremesas, salgadinhos, molhos e frutas em conserva, entretanto, esses corantes alimentares sintéticos também têm consequências negativas para o meio ambiente. Órgãos reguladores permitem o uso de corantes sintéticos como aditivos em alimentos e produtos farmacêuticos, desde que estejam presentes em concentrações mais baixas para melhorar a aparência, a uniformidade da cor e a textura. A Lei de Prevenção à Adulteração de Alimentos (1954) na Índia aprova especificamente corantes sintéticos como tartrazina, azul brilhante, amarelo-sol, ponceau-4r, carmoisina, eritrosina e índigo carmim para consumo. Para superar este problema, o tratamento químico, especialmente o processo de oxidação avançada (POA), foi adotado por Tsungom Mulai et. al.(9).

Embora os POA demonstrem elevada eficiência, por vezes eles não conseguem promover a completa degradação dos contaminantes, levando a formação de subprodutos que podem apresentar características indesejáveis, como toxicidade. A toxicologia está ligada ao estudo dos efeitos adversos de substâncias. Os testes de toxicidade expõem organismos representativos durante um período determinado a uma ou várias concentrações de uma ou mais substâncias e avaliar os efeitos causados. Através de estudos foi comprovado que a utilização de sementes vegetais como alface (*Lactuca sativa*), permite determinar a toxicidade de efluentes. As sementes de alface submetidas a hidratação entram em seu processo de germinação, no qual sofrem mudanças fisiológicas de forma rápida (10).

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo promover a degradação de uma mistura aquosa dos corantes alimentícios amarelo crepúsculo e roxo açaí por meio de POA-foto-Fenton. Para tal, foram avaliados diferentes tipos de POA de modo a identificar o que melhor eficiência, e para este determinar o perfil cinético de degradação e a toxicidade das soluções antes e após o tratamento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste item estão descritos todos os materiais e metodologias utilizados ao longo da pesquisa, tanto no que diz respeito a elaboração de metodologia para detecção e quantificação dos corantes alimentícios, quanto da degradação deles via POA e do estudo de toxicidade. Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Engenharia Ambiental e da Qualidade da Universidade Federal de Pernambuco (Recife, PE, Brasil) no período de março a junho de 2025.

Solução de trabalho e metodologia de quantificação

Inicialmente, foi preparada uma solução aquosa contendo os corantes amarelo crepúsculo (AC) e roxo açaí (RA) a 10 $mg.L^{-1}$, de cada (ST). Os padrões utilizados foram obtidos da F.Trajano Aromas & Ingredientes. Essa amostra foi submetida a análise varredura espectral de 200 a 600 nm, utilizando um espectrofotômetro de absorção molecular na região do ultravioleta/visível (UV/Vis) (Metash UV-5100). Em seguida, foram determinado(s) o(s) comprimento(s) de onda característico(s) e construída(s) a(s) curva analítica(s) com faixa linear de 1 a 15 $mg.L^{-1}$. Para tal, foram realizadas leituras de triplicatas de cada ponto da curva (foram utilizados 2 analistas), sendo esta obtida da média de cada um deles.

Estudo de degradação

Antes dos ensaios utilizando o processo foto-Fenton (FF), foram avaliados os contributos dos processos de fotólise e Fenton tratamento dos corantes em solução aquosa. Ressalta-se que todos os processos foram realizados em 60 min, utilizando 50 mL da ST, e quando aplicável, 1 $mg.L^{-1}$ de ferro. As soluções foram quantificadas antes e após submissão a cada um dos processos, e suas eficiências determinadas através do percentual de degradação dos contaminantes. Concluída esta etapa, foram conduzidos os ensaios de degradação por meio do processo FF, empregando radiação UV-C (sendo a câmara de irradiação composta por 3 lâmpadas dispostas em paralelo de 30W cada, totalizando 90 W, Osram, com 90 cm de comprimento) em câmara de

irradiação fechada, revestidas com folha de alumínio de modo a aumentar sua eficiência. O desenho esquemático do sistema empregado pode ser visualizado na Figura 1, vale ressaltar que todos os ensaios foram realizados em duplicata e por 2 analistas.

Considerando que processos à base de ferro exibem maior eficiência em meio ácido, foram realizados ensaios com a ST em seu pH natural e em pH ajustado (entre 2 e 3). Para acidificar a amostra, utilizou-se uma solução de H_2SO_4 5 mol·L^{-1}, e o pH foi medido com pH-metro de bancada (Quimis). Em ambos os ensaios, utilizaram-se 50 mL de ST, 20 mg·L^{-1} de H_2O_2 35% v/v (Êxodo) devidamente padronizado e 1 mg·L^{-1} de Fe. Ressalta-se que o tempo de tratamento adotado foi de 60 min, sendo cada ensaio realizado em duplicata (foram utilizados 2 analistas).

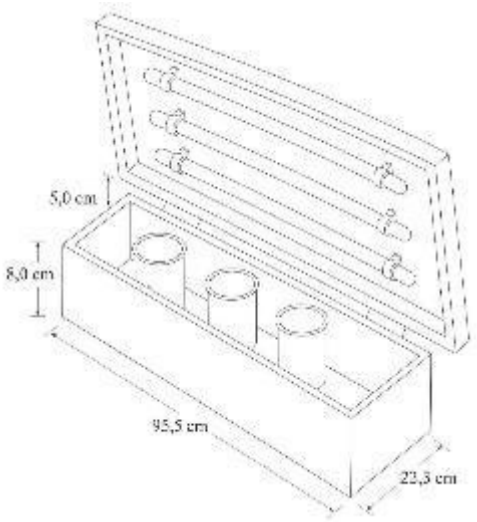


Figura 1 - Câmara de radiação equipada com lâmpadas UV-C.

Fonte: adaptado de Charamba et al. (2018) (11).

Ajuste de parâmetros operacionais

Após estudos iniciais foram avaliadas as variáveis que podem influenciar na eficiência dos processos, sendo as concentrações de H_2O_2 e do catalisador. O pH da solução foi mantido na melhor condição selecionada na etapa anterior. Assim, fixou-se o valor da concentração do catalisador em 1 mg·L^{-1} de $FeSO_4$ e a concentração do agente oxidante foi variada em 20, 40, 60, 80 e 100 mg.L^{-1}. Posteriormente, estabelecida a melhor (H_2O_2), avaliou-se a influência da concentração de catalisador no sistema, variando-a em 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0 e 5,0 mg·L^{-1}. Em todos os casos, foram utilizados 50 mL da solução aquosa dos corantes com tempo de experimento de 60 min. Todos os ensaios foram realizados em duplicata por 2 analistas. A câmara de irradiação apresentou uma emissão de fótons em torno de 7,0 x10^3 W. cm^{-2}.

Feito isto, visando a garantia da eficiência do processo, foi realizado o estudo da variação de volume da solução tratada. Desta forma, os volumes 50 mL, 100 mL, 250 mL, 500 mL, 750 mL e 1 L, foram testados, sendo cada ensaio realizado em duplicata (foram utilizados 2 analistas).

Estudo da cinética de degradação dos corantes e acompanhamento do consumo de H_2O_2

O estudo da cinética de degradação dos corantes em estudo e o acompanhamento do consumo de H_2O_2 foram realizados nas melhores condições experimentais obtidas nas etapas anteriores. Os ensaios foram realizados com a retirada de alíquotas em intervalos de tempo de 0, 3, 5, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 45, 60, 75 e 90 min. A partir dos resultados obtidos, os dados experimentais foram avaliados quanto ao ajuste ao modelo cinético proposto por Chan e Chu (2003) (12) (Equação 1).

$$\frac{(C)}{(C)_0} = 1 - \frac{t}{\rho + \sigma * t} \quad (1)$$

Em que: C é a concentração do contaminante ($mg \cdot L^{-1}$) ao término do tratamento; C_0 é a concentração do contaminante ($mg \cdot L^{-1}$) no início do tratamento; t é o tempo reacional (min); ρ: constante cinética de reação (min) e σ é a capacidade de oxidação.

O ajuste dos dados experimentais ao modelo cinético descrito foi realizado com auxílio do Origin. Os ensaios de bancada foram realizados por 2 analistas, enquanto o ajuste no *software* foi feito por eles e revisado por um terceiro analista.

Além da quantificação dos corantes, após o estudo cinética a concentração residual de H_2O_2 também foi determinada com o mesmo intervalo de tempo descrito para cinética de degradação dos corantes. Para tal, utilizou-se o método colorimétrico descrito por Santana *et al.* (13), que empregou o equipamento de espectrofotometria de UV/Vis (Metash UV-5100).

Toxicidade

A toxicidade foi acompanhada por um período total de 120 h, submetendo as sementes de alface (*Lactuca sativa*; Isla) antes e após o POA foto-Fenton. Para tal, foram colocadas 20 sementes sobre papel de filtro qualitativo em placas de Petri (diâmetro = 9 cm) contendo 4 mL de cada amostra e dos controles negativo (água destilada) e positivo (ácido bórico), ensaios em quintuplicata (estes ensaios foram realizados por 2 analistas e revisado por um terceiro analista). Após o período de incubação, foram avaliadas a germinação das sementes e o comprimento das radículas. O procedimento experimental seguiu o descrito por Santana *et al.* (14) e o nível de toxicidade foi determinado através do índice de germinação (IG) e do índice de crescimento relativo (ICR), conforme (15). O procedimento experimental está ilustrado na Figura 2.

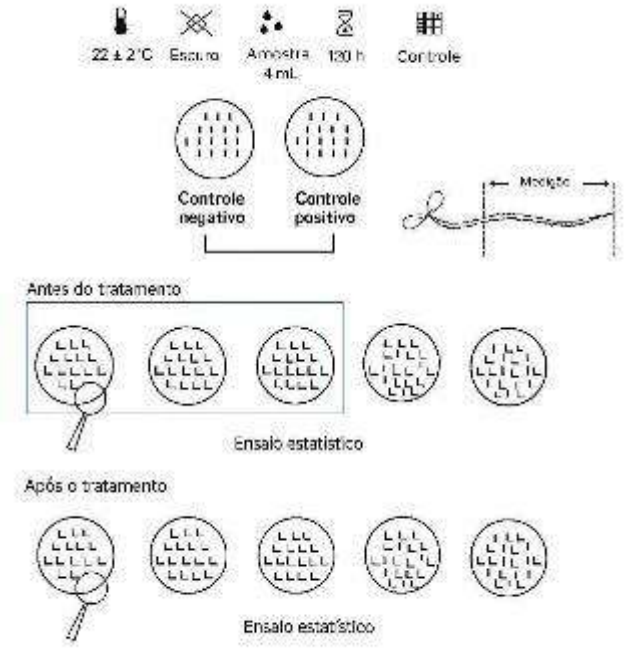


Figura 2 – Ensaios toxicidade com *Lactuca sativa*.

Fonte: (16).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Solução Trabalho

Como ponto de partida foi realizada uma varredura espectral da mistura aquosa dos corantes amarelo crepúsculo (AC) e roxo açaí (RA) com concentração de 10 mg.L^{-1} de cada corante, para identificação dos picos característicos. O resultado obtido está apresentado na Figura 3.

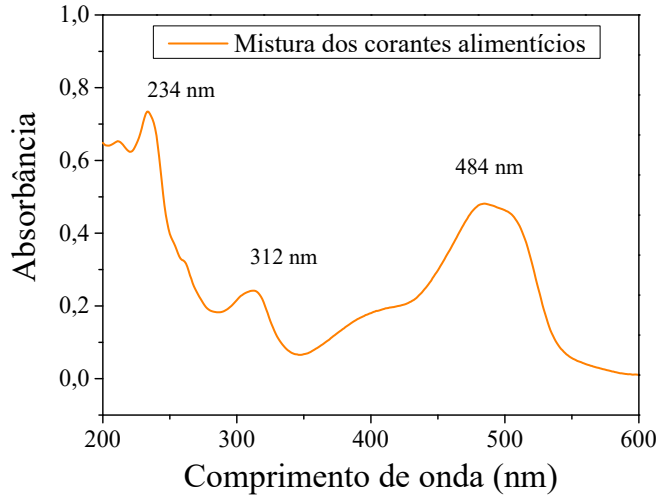


Figura 3 - Espectro da solução dos corantes amarelo crepúsculo e roxo açaí em solução aquosa, com concentração de 10mg·L^{-1} de cada corante.

Fonte: as autoras (2025).

Como ilustrado na Figura 3 é possível identificar três picos característicos, sendo eles 234, 312, 484 nm. É possível perceber que na região do visível, um pico em 484 nm a cor, que este pode ser atribuído à transição n-π* dos grupos cromóforos presentes nas moléculas dos corantes. Os picos observados na região do ultravioleta estão relacionados aos anéis aromáticos ligados ao corante (Nascimento et al., 2020) (17).

Assim, as curvas analíticas foram construídas para cada λ selecionado, sendo verificados valores de coeficiente de correlação(r) foi maiores que 0,99. Estes resultados atendem à exigência da Agência Nacional de Vigilância Sanitária conforme a Resolução da diretoria colegiada (RDC) n°166 de 2017 (18).

Estudo de degradação

Para o estudo de degradação dos corantes AC e RA em solução, inicialmente avaliou-se a contribuição da fotólise, Fenton e foto-Fenton conforme pode ser observado na Figura 4.

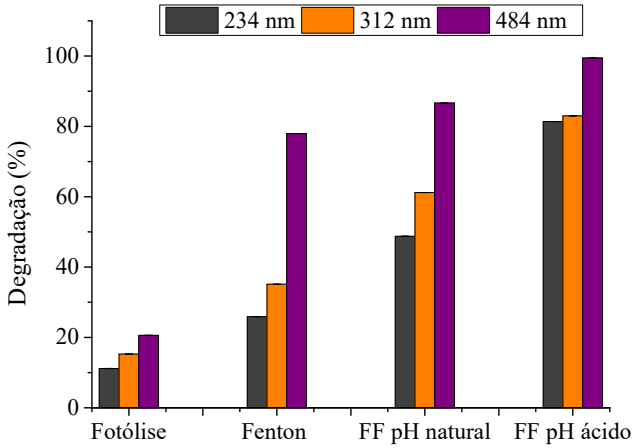


Figura 4- Estudo de degradação dos corantes alimentícios amarelo crepúsculo e roxo açaí em solução aquosa. FF = foto-Fenton.

Fonte: as autoras (2025).

Os resultados apresentados na Figura 4, mostram que a fotólise, conduziu a uma degradação mínima, igual a 11, 15 e 20% de degradação para os grupamentos monitorados nos λ de 234, 312 e 484 nm, respectivamente. Isso indica que o uso exclusivo de irradiação não foi suficiente para degradar os corantes. A aplicação do processo Fenton, elevou a eficiência, alcançando degradações em torno de 25, 35 e 78% nos λ 234, 312 e 484 nm, nesta ordem. Esse ganho deve-se à geração contínua de radicais hidroxila na zona de reação, que atacam de forma mais eficaz as moléculas dos corantes (Mulai *et al.* 2025) (19).

Ainda analisando a Figura 4, constata-se que ao acrescentar a radiação UV-C no sistema Fenton, obteve-se os maiores percentuais de degradação, variando entre 48 e 86 % ao fazer uso de pH natural e atingindo 80, 82 e 100% de degradação ao monitorar os λ de 234, 312 e 484 nm, respectivamente. Neste caso, o sistema promoveu a fotorredução de Fe^{3+} a Fe^{2+}, ampliando o ciclo de geração de radicais •OH (Pinoargote-Chang *et al*. 2022) (20). Em meio ácido a produção de espécies oxidantes foi então maximizada, favorecendo a eficiência dos processos (Suhan et al. 2021)(21).

Sabendo que o processo foto-Fenton foi o mais eficiente, passou-se a etapa de avaliação dos seus parâmetros operacionais.

Ajuste de parâmetros operacionais

Visto que o sistema FF apresentou os melhores resultados ao utilizar pH ácido, passou-se para o ajuste dos demais parâmetros operacionais (concentração de peróxido de hidrogênio e concentração de ferro). Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 5.

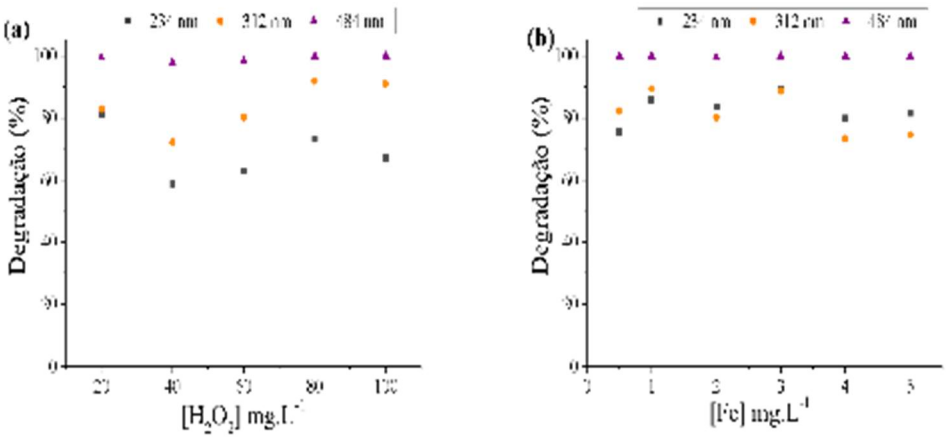


Figura 5 – Estudo dos parâmetros operacionais do processo foto-Fenton para degradação dos corantes alimentícios amarelo crepúsculo e roxo açaí em solução aquosa
Fonte: aa autoras (2025).

Conforme mostrado na Figura 5(a), o aumento da concentração de H_2O_2 de 20 para 100 mg·L^{-1} não promoveu ganhos na degradação dos grupos monitorados em 484 nm, sugerindo que, para este λ, o sistema já opera próximo ao seu limite de eficiência mesmo com pequenas doses de oxidante. Por outro lado, o melhor desempenho de degradação dos grupos monitorados em 234 nm ocorreu com as menores concentrações de H_2O_2, reforçando que, para esse comprimento de onda, quantidades menores de oxidante são suficientes para atingir degradações maiores. Este resultado pode ser explicado pelo fato de que o excesso de H_2O_2 pode atuar como competidor na reação com os radicais gerados, formando espécies menos reativas, como radicais superóxidos ou hidroperoxilas, por exemplo (Wang *et al*. 2022) (22).

Por outro lado, ao analisar a variação da concentração de ferro (Fe), Figura 5 (b), de 0,5 mg·L^{-1} até 5,0 mg·L^{-1}, nota-se um crescimento rápido da degradação entre 0,5 e 1,0 mg·L^{-1}, passando de cerca de 75% para 90% em 234 nm, de 80% para 95% em 312 nm e de 98% para 100% em 484 nm. Entretanto, os resultados obtidos entre a concentração de 2,0 e 5,0 mg.L^{-1} apresentaram ganhos sutis e pouco significativos, sugerindo que o excesso de Fe pode levar à formação de espécies de menor reatividade o que diminui a eficiência do tratamento proposto (Lin *et al.* 2025) (23).

Desta forma, optou-se por seguir com a concentração de 1 mg.L^{-1} de Fe. Resultados semelhantes foram obtidos por Shen, Wang e Xiao (2016) e Benjelloun et al. (2017) (24), ~~e~~ que também investigaram o efeito do aumento da quantidade de H_2O_2 para concentrações fixas de corante e catalisador na degradação de amarelo crepúsculo e roxo açaí utilizando o processo foto-Fenton. Foi possível analisar que quanto maior a

quantidade de H_2O_2 maior a eficiência do processo de degradação de corantes, tendo em vista que, o H_2O_2 é o precursor dos radicais hidroxila, quanto mais radicais hidroxila são gerados, consequentemente acelera e intensifica a degradação.

Considerando que o aumento do volume da solução tratada pode influenciar significativamente a eficiência do processo, realizou-se um ensaio cujos resultados estão apresentados na Figura 6.

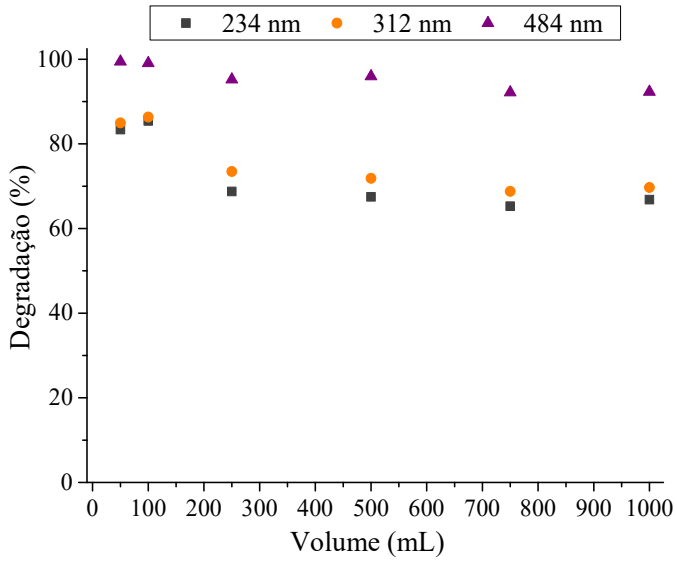


Figura 6 – Estudo da variação do volume da solução tratada com os corantes alimentícios amarelo crepúsculo e roxo açaí em solução aquosa.
Fonte: as autoras (2025).

A Figura 6 evidencia que, ao elevar o volume da solução de 50 para 100 mL, a eficiência de degradação se manteve praticamente inalterada em todos os comprimentos de onda avaliados. Nos volumes superiores (200, 500, 750 e 1000 mL), observou-se uma redução nos percentuais de degradação, principalmente nos λ de 234 e 312 nm, indicando perda de desempenho do sistema em escalas maiores. Por essa razão, optou-se por realizar o estudo cinético com o volume de 100 mL, garantindo um balanço adequado entre representatividade do processo e eficiência de degradação.

Estudo da cinética de degradação e acompanhamento do consumo de H_2O_2

Com base nas condições operacionais selecionadas na etapa anterior, foi realizado o acompanhamento cinético da degradação dos corantes em solução aquosa. Sendo assim, a adequação dos dados experimentais ao modelo proposto por Chan; Chu (2010) (26), assim como os resíduos gerados pelo modelo, podem ser visualizados na Figura 7.

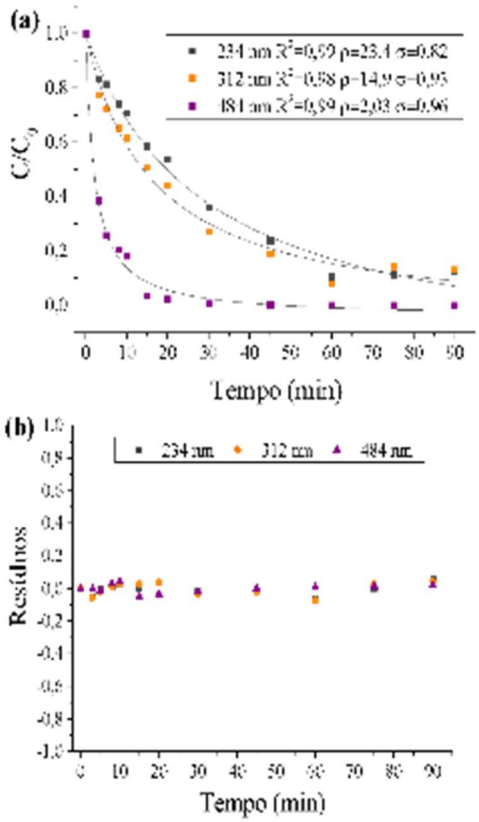


Figura 7 – (a) Acompanhamento cinético da degradação dos corantes alimentícios amarelo crepúsculo e roxo açaí em solução aquosa e (b) gráfico de resíduos dos dados experimentais ao modelo de Chan; Chu (2003). Condições experimentais: V = 100 mL; (H_2O_2) = 20 mg·L^{-1}; (Fe)= 1 mg.L^{-1}; pH = 2-3; T = 29 ± 1 °C, p = 1 atm
Fonte: as autoras (2025).

Por meio do perfil de degradação apresentado na Figura 7 (a), verifica-se que o decaimento da concentração no λ de 484 nm aconteceu de maneira mais rápida quando comparado com os outros λ analisados, atingindo 100% de percentual de degradação nos primeiros 20 min de reação. Por outro lado, para os λ de 234 e 312 nm constatou-se cerca de 50% de degradação após 20 min. Após esse período, a degradação aconteceu de forma mais lenta seguida por uma fase de estabilização. Nota-se ainda um bom ajuste dos dados experimentais ao modelo de Chan; Chu (2003) (26), fato justificado pelos altos valores de R^2. Corroborando com esse fato, os gráficos de resíduos (Figura 7 (b)), indicaram que os resíduos obtidos oscilaram aleatoriamente em torno da linha média, apresentando baixa dispersão.

Com o objetivo de compreender o comportamento do agente oxidante ao longo do processo de degradação, realizou-se o acompanhamento de seu consumo durante os tempos estabelecidos no ensaio cinético. Os resultados obtidos podem ser visualizados na Figura 8.

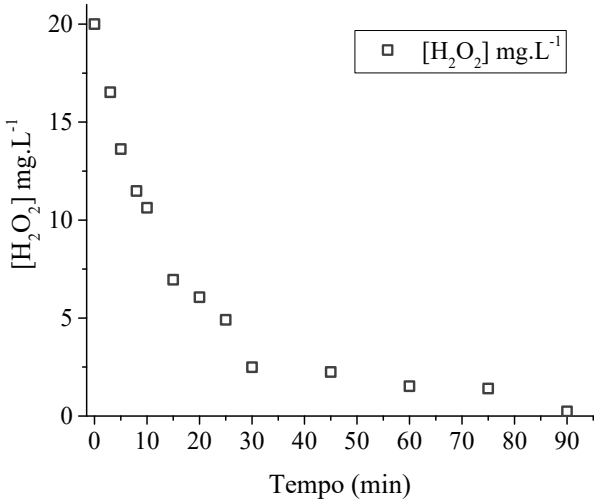


Figura 8 – Acompanhamento do consumo da (H_2O_2) mg.L^{-1} durante a degradação dos corantes alimentícios amarelo crepúsculo e roxo açaí em solução aquosa.
Fonte: as autoras (2025).

Tendo em vista os dados apresentados na Figura 8, nota-se que o H_2O_2 foi amplamente consumida ao longo do tempo reacional e que o valor utilizado (20 mg·L^{-1}) foi adequado para o processo, visto que a degradação não foi interrompida pelo consumo total do agente oxidante. Assim, é explicado o consumo mais acelerado do agente oxidante ao utilizar a radiação UV-C (26). Em seguida, foi investigada a toxicidade da solução de corantes antes e após o emprego do processo foto-Fenton.

Toxicidade

Para realização dos testes de toxicidade foram utilizadas sementes de alface (*Lactuca sativa*). Para isto, foram analisadas as soluções aquosas da mistura dos corantes amarelo crepúsculo e Roxo açaí antes e após a submissão aos sistemas selecionados. Para tal, calculou-se os índices de germinação (IG) e de crescimento radicular (ICR) das amostras, cujos resultados estão apresentados na Figura 9.

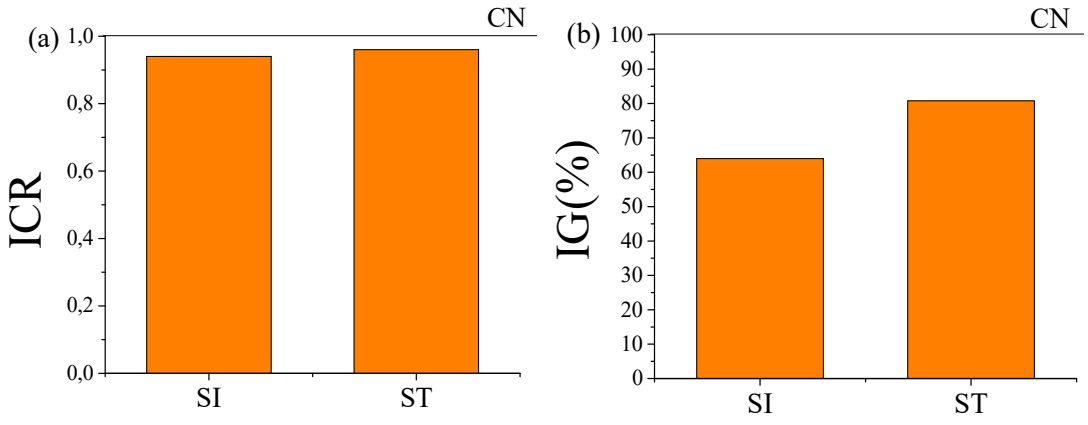


Figura 9 - Valores de (a) ICR e (b) IG (%) para o controle negativo (CN), solução inicial (dos corantes) para as amostras tratadas através do foto-Fenton/UV-C com (H_2O_2) de 20mg.L^{-1}. SI = solução inicial; ST = solução após tratamento Foto-Fenton com (H_2O_2) igual a 20 mg.L^{-1}.

Fonte: as autoras (2025).

Na Figura 9, observa-se que, antes e após o tratamento, nenhuma das soluções avaliadas provocou redução significativa no índice de crescimento radicular das sementes, indicando ausência de toxicidade sobre o desenvolvimento das raízes. Em contraste, a solução bruta de corantes apresentou diminuição acentuada no índice de germinação, sugerindo a presença de compostos tóxicos nessa amostra. Esse comportamento corrobora estudos prévios em que sistemas avançados de oxidação não apenas promovem a quebra de moléculas cromóforos, mas também reduzem significativamente a toxicidade de efluentes contendo corantes orgânicos (2).

Além disso, segundo Young e colaboradores (2012) (27), os valores de ICR podem ser classificados em três categorias, de acordo com os efeitos de toxicidade observados. São elas: 1) a inibição do alongamento da raiz (0 < ICR < 0,8), 2) sem efeitos significativos (0,8 < ICR < 1,2) e 3) estimulação do alongamento da raiz (ICR >1,2). Diante disso, após o tratamento pode-se afirmar que as sementes de alface não apresentaram efeitos tóxicos significativos. Desse modo, constata-se que o tratamento reduziu a toxicidade das soluções, tornando-o menos agressivo às sementes, reforçando seu potencial como alternativa sustentável no tratamento de efluentes contendo corantes sintéticos.

CONCLUSÕES

O presente trabalho permitiu observar que a fotólise isolada utilizando radiação UV-C, e o processo de Fenton sem irradiação apresentaram baixa eficiência na degradação dos corantes amarelo crepúsculo e roxo açaí em solução aquosa, enquanto o foto-Fenton em reator de bancada com UV-C, combinando ferro como catalisador e H_2O_2 como agente oxidante, mostrou-se mais eficaz. Estes resultados foram obtidos ao fazer uso de uma (H_2O_2) de 20 $mg.L^{-1}$ e 1 $mg.L^{-1}$ de Fe. Durante a avaliação da cinética a degradação, percebeu-se que os grupamentos observados no λ de 484 nm foram tratados de maneira mais rápida quando comparado com os outros λ analisados (234 e 312 nm). Foi visto que os dados experimentais se ajustaram bem ao modelo proposto com Chan; Chu (2003), seguindo um perfil cinético de pseudo primeira-ordem. A concentração H_2O_2 residual após 90 min foi de 0,2 $mg.L^{-1}$. Por fim, constatou-se através dos testes de toxicidade que a solução após o tratamento foto-Fenton/UV-C não apresentou toxicidade frente a semente de alface.

AGRADECIMENTOS

À FADE/UFPE e à FACEPE.

REFERÊNCIAS

1. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 306, de 5 de julho de 2002**.

2. NEVES, LUDMILA CARVALO et al. Phytotoxicity indexes and removal of color, COD, phenols and ISA from pulp and paper mill wastewater post-treated by UV/H2O2 and photo-Fenton. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 202, p. 110939, 2020.

3. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). *Relatório de Progresso dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 2022*. Nova York: ONU, 2022. Disponível em: https://unstats.un.org/sdgs/report/2022/. Acesso em: 11 jul. 2025.

4. ESSAWY, A. A.; ALI, A. E.-H.; ABDEL-MOTTALEB, M. A**pplication of novel copolymerTiO₂ membranes for some textile dyes adsorptive removal from aqueous solution and photocatalytic decolorization.** Journal of Hazardous Materials, v. 157, p. 547–552, 2008.

5. LIDON, F.; SILVESTRE, M. M. Indústrias Alimentares. Aditivos e Tecnologia. Portugal: Editora Ed., 2007.

6. GANIYU, S. O.; ARAUJO COSTA, E. C.; MARTINEZ-HUITLE, C. A.; SANTOS, E. V. Electro-Fenton catalyzed by Fe-rich lateritic soil for the treatment of food colorant Bordeaux Red (E123): Catalyst characterization, optimization of operating conditions and mechanism of oxidation. Separation and Purification Technology, 242, 116776, 2022

7. GERBER, M. D.; LUCIA, T. J.; CORREA, L.; PEREIRA, J. E. N.; CORREA, E. K.. Phytotoxicity of effluents from swine slaughterhouses using lettuce and cucumber seeds as Bioindicators. **Science of the Total Environment**, Amsterdã, v.592, p.86-90, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.075
8. DUQUE, CARLOS HENRIQUE et al. Processos oxidativos avançados (POA) no ensino de Cinética Química: proposta de ferramenta metodológica envolvendo a Química e a Educação Ambiental. 2023.
9. MULAI, TSUNGOM, John Elisa Kumar, Ashutosh Tripathy, Mihir Kumar Sahoo, Degradation of higher concentration of food colouring dye by classical fenton oxidation: A statistical optimization, **Next Research**, Volume 2, Issue 3, 2025, 100535, ISSN 3050-4759, https://doi.org/10.1016/j.nexres.2025.100535.
10. CAVALCANTI, V. D. O., SANTANA, R. M. R., NEVES, N. D. C., DE LUCENA, A. L. A., DE OLIVEIRA, M. A. S., DO NASCIMENTO, G. E., & NAPOLEÃO, D. C. Treatment of the drugs atenolol and propranolol by advanced oxidation processes, a kinetic approach, toxicity effects on seeds, and chromatographic analysis. 75(8), 4391-4403, 2021.
11. CHARAMBA, L. V. C., SANTAxNA, R. M. R., NASCIMENTO, G. E., CHARAMBA, B. V. C., MOURA, M. C., COELHO, L. C. B. B., OLIVEIRA, J. G. C.,DUARTE, M. M. M. B.,NAPOLEÃO, D. C.Application of the advanced oxidative process on the degradation of the green leaf and purple açaí food dyes with kinetic monitoring and artificial neural network modelling. **Water Sci Technol**. 2018; 78:1094-1103.
12. CHAN, K. H.; CHU, W. Modeling the reaction kineties of Fenton's process on the removal of atrazine. **Chemosphere**, v. 51, n. 4, p. 305-311, 2003.
13. SANTANA, R. M. R.; NAPOLEÃO, D. C.; DUARTE, M. M. M. B. Treatment of textile matrices using Fenton processes: influence of operational parameters on degradation kinetics, ecotoxicity evaluation and application in real wastewater. **Journal of Environmental Science and Health**, Part A, v. 56, n. 10, p. 1165-1178, 2021.

14. SANTANA, R. M. D. R.; NAPOLEÃO, D. C.; DUARTE, M. M. M. B. **Journal of Environmental Science and Health**, Part A, 56(10), 1165-1178, 2021.

15. YOUNG, B. J.; RIERA, N. I.; BEILY, M. E.; BRES, P. A.; CRESPO, D. C.; RONCO, A. E. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 76(2), 182-186, 2012.
16. GARCIA J. C.; SIMIONATO J. I.; ALMEIDA V. C.; PALÁCIO S. M.; ROSSI F. L.; SCHNEIDER M. V.; SOUZA N. E.. Evolutive Follow-up of the Photocatalytic Degradation of Real Textile Effluents in TiO2 and TiO2/H2O2 Systems and their Toxic Effects on Lactuca sativa Seedlings. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 20, n. 9, p. 1589-1597, 2009.
17. NASCIMENTO, G. E.; CAVALCANTI, V. O. M.; SANTANA, R. M. R.; Sales, D. C. S.; Rodríguez-Díaz, J. M.; Napoleão, D. C.; Duarte, M. M. M. B. Degradation of a sunset yellow and tartrazine dye mixture: optimization using statistical design and empirical mathematical modeling. **Water, Air, & Soil Pollution**, 231, 1-17, 2020.
18. BRASIL, Ministério da Saúde. Resolução RDC n°166, de 24 de julho de 2017. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - (ANVISA). Brasília, DF, 2017.
19. MULAI, TSUNGOM et al. Degradation of Higher Concentration of Food Colouring Dye by Classical Fenton Oxidation: A Statistical Optimization. **Next Research**, p. 100535, 2025.
20. INOARGOTE-CHANG, MILTON HORACIO et al. Photo-Fenton process for the degradation of blue 1 dye and estradiol benzoate hormone in binary system: application of sunlight and UV-C radiation. **Case Studies in Chemical and Environmental Engineering**, v. 6, p. 100226, 2022.
21. SUHAN, Md Burhan Kabir et al. Sudan black B dye degradation in aqueous solution by Fenton oxidation process: Kinetics and cost analysis. **Case Studies in Chemical and Environmental Engineering**, v. 4, p. 100126, 2021.
22. WANG, Fu-Xue et al. Efficient removal of emerging organic contaminants via photo-Fenton process over micron-sized Fe-MOF sheet. **Chemical Engineering Journal**, v. 429, p. 132495, 2022.
23. LIN, YIMIN et al. The profound review of Fenton process: What's the next step?. **Journal of Environmental Sciences**, v. 147, p. 114-130, 2025.
24. SHEN, Y.; WANG, W.; XIAO, K. Synthesis of three-dimensional carbon felt supported TiO2 monoliths for photocatalytic degradation of methyl orange. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 4, n. 1, p. 1259–1266, 2016.
25. CHAN, Kwai Hing; CHU, Wei. Modeling the reaction kinetics of Fenton's process on the removal of atrazine. **Chemosphere**, v. 51, n. 4, p. 305-311, 2003.
26. MORAES, N. F.; SANTANA, R. M.; GOMES, R. K.; JÚNIOR, S. G. S.; DE LUCENA, A. L.; ZAIDAN, L. E.; NAPOLEÃO, D. C. Performance verification of different advanced oxidation processes in the degradation of the dye acid violet 17: reaction kinetics, toxicity and degradation prediction by artificial neural networks. **Chemical Papers.** v. 75 n. 2, p. 539-552, 2020.
27. YOUNG, B. J.; RIERA, N. I.; BEILY, M. E.; BRES, P. A.; CRESPO, D. C.; RONCO, A. E. Toxicity of the effluent from an anaerobic bioreactor treating cereal residues on Lactuca sativa. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 76, n. 2, p. 182-186, 2012.

QUE CHOCOLATE É ESSE? AVALIAÇÃO DOS HÁBITOS DOS CONSUMIDORES DESTE PRODUTO NA CIDADE DE SOBRAL-CE

WHAT CHOCOLATE IS THIS? ASSESSMENT OF CONSUMER HABITS OF THIS PRODUCT IN THE CITY OF SOBRAL-CE

DOI: 10.65747/conali2025v3c37

Aline Mendes de Andrade[1]; Beatriz Damasceno do Nascimento [2]; Georgia Maciel Dias de Moraes[3]; Francisca Joyce Elmiro Timbó Andrade[4]; Leiliane Teles César[5]; Mirla Dayanny Pinto Farias[6]

[1]Estudante do Curso de Tecnologia em Alimentos – Eixo de Produção Alimentícia – IFCE Campus Sobral; [2]Estudante do Curso de Tecnologia em Alimentos – Eixo de Produção Alimentícia – IFCE Campus Sobral; [3]Docente/pesquisadora do Eixo de Produção Alimentícia – IFCE - Campus Sobral; [4]Docente/pesquisadora do Eixo de Produção Alimentícia – IFCE - Campus Sobral; [5]Docente/pesquisadora do Eixo de Produção Alimentícia – IFCE - Campus Sobral; [6]Docente/pesquisadora do Eixo de Produção Alimentícia – IFCE - Campus Sobral.
Contato: aline.mendes.andrade05@aluno.ifce.edu.br

Resumo: Conhecido em todo o mundo e nomeado como “Delícia dos Deuses”, o chocolate é consumido por todos os públicos e as preferências dos tipos variam de acordo com cada país. Com objetivo de disseminar informações e conscientizar o consumidor sobre o chocolate, foram criados e distribuídos em dois grandes supermercados do município de Sobral, folders contendo informações essenciais sobre os tipos de chocolate e suas características e foi realizada uma pesquisa com 55 consumidores de chocolate com propósito de averiguar como andam os hábitos de consumo de chocolate. As marcas de chocolate foram identificadas por siglas e as respostas foram avaliadas e organizadas em gráficos e tabelas. Todos os consumidores abordados afirmaram gostar de chocolate e através da pesquisa foi possível compreender melhor os hábitos de consumo de chocolate pelos consumidores da cidade de Sobral na região Norte do Ceará. Foi identificado altos percentuais indicando que os sobralenses preferem consumir chocolate após as refeições e costumam comprar em supermercados com preferência para o chocolate ao leite, sendo as marcas preferidas La, Ga e CS, a maioria compra pelo sabor e não possuem o costume de ler rótulos, com as informações presentes nos folders os consumidores conseguiram compreender melhor sobre os tipos, benefícios e o que diz a ciência sobre o chocolate.

Palavras–chave: consumidores; preferência; supermercados

Abstract: Known worldwide and known as the "Delight of the Gods," chocolate is consumed by all audiences, and preferences vary by country. To disseminate information and raise consumer awareness about chocolate, brochures containing essential information about the types of chocolate and their characteristics were created and distributed in two large supermarkets in the municipality of Sobral. A survey was conducted with 55 chocolate consumers to determine their chocolate consumption habits. Chocolate brands were identified by acronyms, and responses were evaluated and organized into graphs and tables. All consumers surveyed stated they enjoyed chocolate, and the survey allowed a better understanding of the chocolate consumption habits of consumers in the city of Sobral, in the northern region of Ceará. High percentages were identified indicating that Sobral residents prefer to consume chocolate after meals and tend to buy in supermarkets with a preference for milk chocolate, with the preferred brands being La, Ga and CS. Most buy for the flavor and do not have the habit of reading labels. With the information present in the folders, consumers were able to better understand the types, benefits and what science says about chocolate.

Keywords: consumers; preference; supermarkets**.**

INTRODUÇÃO

Ao fazer suas compras, muitos clientes optam por adquirir produtos ofertados de uma marca conhecida, pelo fácil acesso, pelo nome, ou pela diferenciação que esta marca possui em relação a outras marcas. Uma das consequências da globalização foi a crescente oferta de produtos e serviços, fazendo com que os gestores despertassem para novas formas de trabalhar dentro das organizações. No setor de chocolates, não poderia ser diferente. Com novas tecnologias e formas mais inteligentes de desenvolver processos e produtos, aliados ao consumidor cada vez mais exigente, torna-se extremamente importante pensar em novos formatos de trabalho, com o intuito de atendê-los e fidelizá-los, visto ser um mercado altamente competitivo (1).

O consumo de chocolate faz parte da vida dos brasileiros, alcançando 3,9 kg em 2024, retratando dados da ABICAB (2). Entretanto, no mercado de chocolates há bastante concorrência, com indústrias de grande e pequeno porte que fabricam produtos diferenciados para seus consumidores mais exigentes, o consumo de chocolates foi ganhando força ao longo dos anos e hoje tem um setor do supermercado, por exemplo, destinado exclusivamente para esses produtos, com as mais diversas marcas disputando um espaço na gôndola.

De acordo com a ABICAB a classificação dos chocolates é feita a partir da quantidade de cacau que eles têm em sua composição. Para saber qual a diferença entre os tipos de chocolate é preciso verificar a porcentagem da matéria-prima. O “ao leite” tem até 25% de cacau e leva leite na receita, por isso é mais doce e agrada tanto o paladar do brasileiro. Os que têm de 35% a 50% de cacau em sua composição são os meio-amargos. Se o produto tem acima de 51% de cacau entre os ingredientes é considerado chocolate amargo (2).

Segundo a Resolução RDC nº 264/2005, Agência Nacional de Vigilância Sanitária (3) chocolate deve ter, no mínimo, 25% de sólidos totais de cacau e é o produto obtido a partir da mistura de derivados de cacau, massa (ou pasta ou líquor) de cacau, cacau em pó e/ou manteiga de cacau, com outros ingredientes. Já o chocolate branco precisa ter, no mínimo, 20% de sólidos totais de cacau e é obtido a partir da mistura de manteiga de cacau com outros ingredientes. Essa mesma resolução define a massa de cacau como o produto obtido das amêndoas de cacau por processo tecnológico considerado seguro para a produção de alimentos.

Com objetivo de disseminar informações e conscientizar o consumidor sobre o chocolate adequado, foram criados e distribuídos *folders* contendo informações essenciais sobre os tipos de chocolate e suas características e paralelamente foi realizada uma pesquisa com propósito de averiguar como é o consumo de chocolate no município de Sobral, estado do Ceará.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram criados e distribuídos em dois grandes supermercados do município de Sobral, folders contendo informações essenciais sobre os tipos de chocolate e suas características: O que é o chocolate e quais são os tipos; Benefícios do cacau para a saúde; Riscos à saúde associados ao consumo de chocolates empobrecidos de cacau e o que diz a ciência com base em estudos. Paralelamente foi realizada uma pesquisa sobre os hábitos de consumo de chocolate pelos consumidores através de um formulário eletrônico acessado por meio de um QR code contido nos folders, com o consentimento de 55 consumidores, sendo 26 do sexo feminino e 29 do sexo masculino, foram aplicadas as seguintes perguntas com auxílio do questionário eletrônico: Você gosta de chocolate? Em quais momentos você costuma consumir chocolate? Com que frequência você consome chocolate? Onde você costuma comprar chocolate? Qual tipo de chocolate você prefere? Quais são suas marcas de chocolate favoritas? O que te influencia na hora de escolher um chocolate? Você costuma comprar chocolate para presentear alguém? Você lê a lista de ingredientes? O que achou do folder informativo sobre chocolate?

Toda a pesquisa foi conduzida de acordo com os aspectos éticos (CAE nº34094920.0.0000.5589) e autorizados pelos respondentes.

As marcas foram identificadas por siglas e as respostas foram avaliadas e organizadas em tabelas e gráficos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O folder distribuído foi elaborado de acordo com informações que constam na legislação (2,3). A figura 1 tem-se o folder utilizado para divulgação.

Figura 1 – Face 2 do folder que foi distribuído aos consumidores.

Fonte: Autores, 2025

O chocolate é consumido por todos os públicos e as preferências dos tipos variam de acordo com cada país (4). Segundo a IN n° 264, de 22 de setembro de 2005 chocolate é o produto obtido a partir da mistura de derivados de cacau (Theobroma cacao L.), massa (ou pasta ou liquor) de cacau, cacau em pó e ou manteiga de cacau, com outros ingredientes, contendo, no mínimo, 25 % (g/100 g) de sólidos totais de cacau. O produto pode apresentar recheio,cobertura, formato e consistência variados (3).

A tabela 1 apresenta o perfil dos consumidores entrevistados em relação ao gênero que se identificam e a faixa etária que detém, as demais tabelas e gráficos apresentam o perfil dos hábitos de consumo de chocolate dos consumidores.

Tabela 1 – Perfil dos consumidores de chocolate entrevistados

Gênero		
	Frequência	Percentual (%)
Feminino	29	52,7%
Masculino	26	47,3%
Faixa etária		
	Frequência	Percentual (%)
Menor de 18 anos	1	1,8%
18 - 24 anos	14	25,5%
25 - 34 anos	23	41,8%
35 - 45 anos	13	23,6%
Acima de 45 anos	4	7,3%

Fonte: Autores, 2025

Dos 55 consumidores que afirmaram gostar de chocolate, 29 eram homens (52,7%) e 26 mulheres (47,3%), sendo que a maioria dos entrevistados tinham de 25 a 34 anos, como mostra a tabela 1. Em estudo sobre o perfil e os hábitos dos consumidores de chocolate na cidade de Erechim/RS a maioria dos respondentes também obtinham de 25 a 35 anos 54% dos 143 respondentes, percebe-se uma maior procura de chocolate pelo público adulto (5).

A tabela 2 apresenta os momentos que os consumidores preferem para consumir o chocolate.

Tabela 2 – Momentos em que os consumidores consomem chocolate

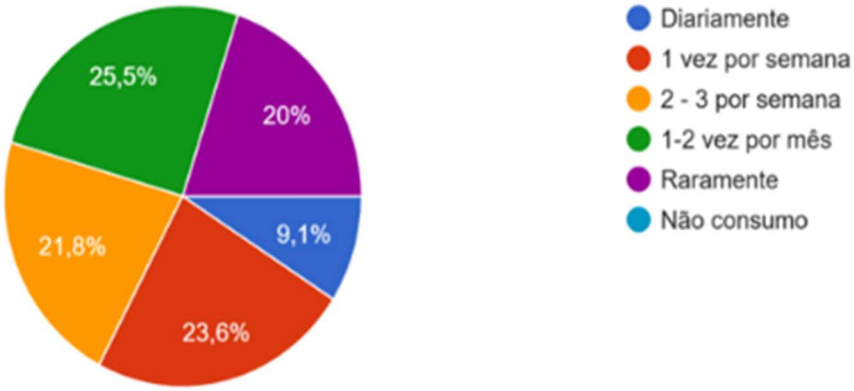
Após refeições	Eventos	Qualquer Momento	Lanche da tarde	À noite	Qualquer hora	Sem momento preferido	Após estresse	Café da manhã
61,8%	23,6%	9,1%	5,5%	5,4%	1,8%	1,8%	1,8%	0%

Fonte: Autores, 2025

Conforme a tabela 2 mostra 61,8% das respostas dos consumidores comprovam a preferência em consumir chocolate após as refeições. É interessante ressaltar que outros autores explicam que o consumo de chocolate após as refeições pode reduzir a velocidade de absorção de glicose, especialmente quando associado a alimentos ricos em fibras, contribuindo para melhor controle glicêmico (6).

A figura 2 apresenta a frequência do consumo de chocolate pelos consumidores.

Figura 2 – Frequência do consumo de chocolate pelos consumidores.



Fonte: Autores, 2025

Dos 55 consumidores entrevistados 14 consomem chocolate de 1 a 2 vezes por mês, 13 uma vez por semana, 12 de 2 a 3 vezes por semana e 11 consomem raramente e 5 diariamente (Figura 1).

A tabela 3 apresenta os lugares em que os consumidores costumam comprar chocolate.

Tabela 3 – Lugares em que os consumidores costumam comprar chocolate

Empreendimentos	**Frequência**	**Percentual**
Supermercados	47	85,5%
Lojas de chocolate	8	14,5%
Pequenas empresas	7	12,7%

Lojas de conveniência	4	7,3%
Padarias	2	3,6%

Fonte: Autores, 2025

A maioria dos consumidores citaram que costumam comprar seus chocolates em supermercados, com 85,5% de respostas, seguido das lojas de chocolate com 14,5% e das pequenas empresas com 12,7% consumidores, (Tabela 3), os supermercados apresentam uma grande variedade de chocolates o que facilita a busca como mostra o estudo de Simões (4) sobre a “Percepção dos consumidores em relação a tabletes de chocolates comerciais e a influência da marca pelo método de respostas emocionais” em que obteve 94,1% das respostas geradas pelos consumidores afirmando que costumavam comprar seus tablets de chocolate em supermercados (4).

A tabela 4 apresenta os tipos preferidos de chocolate dos consumidores.

Tabela 4 – Preferências de tipos de chocolate pelos consumidores

Tipos de chocolate	**Frequência**	**Percentual**
Chocolate ao leite	31	56,4%
Chocolate branco	18	32,7%
Chocolate meio amargo	15	27,3%
Chocolate com recheio	11	20%
Chocolate amargo	9	16,4%
Chocolate 70%	9	16,4%
Chocolate 50%	6	10,9%
Chocolate 40%	5	9,1%
Chocolate 60%	5	9,1%
Chocolate 80%	4	7,3%
Chocolate 30%	3	5,5%
Chocolate 90%	3	5,5%

Fonte: Autores, 2025

Dentre os 55 consumidores 56,4 % indicaram preferência ao Chocolate ao Leite, fazendo correlação a ABICAB, o preferido do brasileiro é o chocolate ao leite. Quando se tem o termo “ao leite” refere-se que ele deverá conter no mínimo 25% de algum produto do cacau e leva leite na composição, agradando o paladar do brasileiro. Porém de acordo com Tan *et al*. (7) e outra por Zimmermann e Ellinger (8) o consumo de chocolate, principalmente o do tipo amargo é um dos mais indicados, pois possui um impacto positivo na saúde humana, como benefícios cardiovasculares,

redução da pressão arterial e diminuição dos níveis de colesterol LDL. Esses efeitos são atribuídos aos compostos bioativos como os flavonoides que possuem propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias.

Zimmermann e Ellinger (8) destacam que os efeitos benéficos do chocolate são mais pronunciados quando se trata de chocolate com alto teor de cacau (acima de 70%) e baixo teor de açúcar, diferente do tipo de chocolate que os participantes desta pesquisa preferem (tabela 4). O cacau pode melhorar o desempenho cognitivo, a sensibilidade à insulina e o humor, além de possuir propriedades neuroprotetoras. No entanto, o consumo excessivo de chocolate, especialmente os tipos ao leite e processados, pode levar ao aumento de peso e a efeitos metabólicos adversos, devido ao alto teor calórico, de açúcar e de gordura.

Meng, Jalil e Ismail (9) investigaram os teores de compostos fenólicos e teobromina em chocolates escuros, ao leite e brancos disponíveis no mercado da Malásia e destacaram que os que são escuros (amargos ou meio amargos) apresentaram os maiores níveis de compostos bioativos (flavonoides), diferentes do que contém leite e os brancos, onde as quantidades foram insuficientes para promoverem um efeito benéfico ao organismo do consumidor.

A tabela 5 apresenta as marcas de chocolate favoritas dos consumidores, codificadas por siglas.

Tabela 5 – Marcas de chocolate favoritas dos consumidores

Marcas	**Frequência**	**Percentual**
Ne	34	61,8
La	25	45,5%
Ga	21	38,2%
CS	20	36,4%
He	12	21,8%
Sem preferência	6	10,9%
Ko	5	9,1%
Ar	3	5,5%
Outras	3	5,5%
On	1	1,8%
CC	1	1,8%
Ca	0	0%
Ze	0	0%

Fonte: Autores, 2025

No estudo realizado por De Almeida Miranda et al. (10) destaca as marcas Cacau Show, Kopenhagen e Ferrero Rocher como as preferidas pelo público dos Campos dos Goytacazes no Rio de Janeiro. Nesta pesquisa realizada em Sobral os consumidores citaram a Ne, La e Ga respectivamente como suas preferidas, a Ne se destacou por ter 61,8% das respostas como a preferida, das marcas descritas no formulário apenas as marcas Ca e Ze não obtiveram nenhuma preferência pelos respondentes (Tabela 5).

O comportamento do consumidor é influenciado pelas suas emoções, desejos, atitudes, necessidades, valores e o grupo social que faz parte, 40 consumidores responderam que costumam comprar chocolate para presentear alguém, ou seja, 72,2%, enquanto os outros 15 ou 27,3% não tem esse costume, e o marketing é fundamental para o sucesso nas vendas.

A tabela 6 apresenta quais os aspectos que mais influenciam os consumidores na hora da compra.

Tabela 6 – Aspectos que influenciam o consumidor na hora da compra.

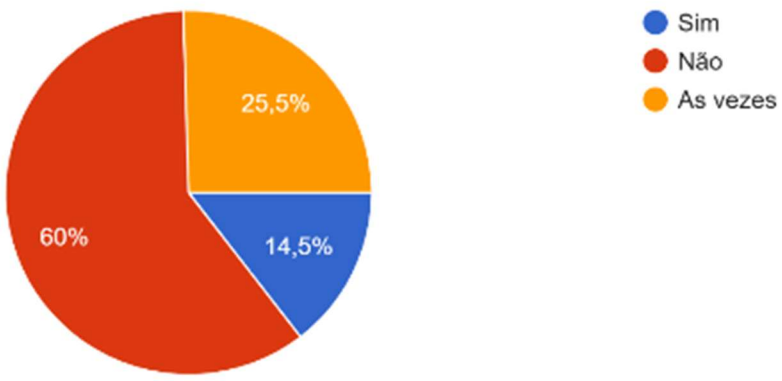
Aspectos	**Frequência**	**Percentual**
Sabor	29	52,7%
Preço	21	38,2%
Marca	11	20%
Prazer ao consumir	9	16,4%
Promoções	6	10,9%
Embalagem	4	7,3%
Ingredientes	4	7,3%

Fonte: Autores, 2025

Ao serem questionados sobre o que os influenciam na hora da compra dos chocolates 52,7% citam o sabor seguido do preço com 38,2%, marca com 20% prazer ao consumir com 16,4%, promoções com 10,9% e embalagem e ingredientes com 7,3%, percebe-se que o sabor tem muita influência sobre os consumidores (Tabela 6), assim como mostra o estudo de Senhori e Cechett (5), em que avaliam o “Perfil e os hábitos dos consumidores de chocolate na cidade de Erechim/RS” e o sabor foi o segundo quesito mais citado com 35% seguido do preço com 10% e marca com 5% das respostas e a qualidade foi a mais citada perante os 143 respondentes da pesquisa, já no estudo De Almeida Miranda et al. (10) o sabor também se destacou como fator relevante para o consumidor.

Na figura 3 apresenta a frequência em que os consumidores leem os rótulos dos chocolates que compram.

Figura 3 – Frequência em que os consumidores leem os rótulos dos chocolates que compram.



Fonte: Autores, 2025

A rotulagem dos alimentos é de suma importância, pois orienta o consumidor a escolhas mais saudáveis e informa o consumidor sobre a composição do que está adquirindo, mas nem todos os consumidores se atentam na leitura dos rótulos dos alimentos, como mostra o gráfico 2, em que 33 (60%) pessoas afirmaram que não leem a lista de ingredientes e 14 (25,5%) afirmaram que leem às vezes, apenas 8 (14,5%) consumidores de chocolate tem o hábito de ler os rótulos das barras de chocolate, ou seja, das 55 pessoas 8 usufruem dos seus direitos de adquirir informações e saber o que estão comprando conforme o inciso I, II e III, Art. 6° do código de defesa do consumidor esclarece e destaca a importância dos conhecimentos acerca do que está comprando (11). A IN n° 75 de 8 de outubro de 2020, que estabelece os requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional nos alimentos embalados trouxe uma ferramenta prática e importante, a rotulagem frontal de alimentos embalados com o uso da lupa na parte frontal do rótulo informando ao consumidor se aquele alimento possui alto teor de gordura saturada, sódio e/ou açúcar adicionado, a Agência de Vigilância Sanitária - ANVISA objetiva garantir a clareza, objetividade e consistência normativa (12).

Embora a maioria não leia os rótulos dos chocolates, todos os consumidores acharam interessantes os assuntos abordados nos *folders*, contribuindo para a disseminação de informações sobre o chocolate.

CONCLUSÕES

Através da pesquisa foi possível compreender melhor os hábitos de consumo de chocolate pelos consumidores da cidade de Sobral na região Norte do Ceará. Foi identificado altos percentuais que indicam que os sobralenses preferem consumir chocolate após as refeições e costumam comprar em supermercados com preferência para o chocolate ao leite, sendo as marcas preferidas Ne, La e Ga, a maioria compra pelo sabor e não possuem o costume de ler rótulos.

REFERÊNCIAS

1. MANCINI, C. O doce mercado de chocolate no Brasil. Publicado em, v. 4, 2017. Disponível no site http://www.negociosemmovimento.com.br/economia/o-doce-mercado-de chocolate-no-brasil/. Acesso em 19/07/25.
2. ABICAB – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CHOCOLATES, AMENDOIM E BALAS. Dados da indústria brasileira de chocolates. Brasília: Ministério da Agricultura e Pecuária, Câmara Setorial do Cacau, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-setoriais/cacau/2023/58a-ro/dados-da-abicab.pdf. Acesso em: 18 jul. 2025.
3. BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. Resolução – RDC nº 264, de 22 de setembro de 2005. Aprova o Regulamento Técnico para chocolate e produtos de cacau. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 set. 2005.
4. SIMÕES, M. S. Percepção dos consumidores em relação a tabletes de chocolates comerciais e a influência da marca pelo método de respostas emocionais. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Lavras.
5. SENHORI, D. B.; CECHETT, R. A. Perfil e hábitos dos consumidores de chocolate na cidade de Erechim/RS. Revista **Perspectiva**, v. 45, n. 170, p. 61–79, 2021.
6. AMORIM, M. P. et al. O consumo de chocolate após as refeições e seus efeitos na resposta glicêmica. **Revista Brasileira de Nutrição Funcional**, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 45–52, 2023.
7. TAN, Terence Yew Chin et al. The health effects of chocolate and cocoa: A systematic review. **Nutrients**, v. 13, n. 9, p. 2909, 2021.
8. ZIMMERMANN, Benno F.; ELLINGER, Sabine. Cocoa, chocolate, and human health. **Nutrients**, v. 12, n. 3, p. 698, 2020.
9. MENG, Cheng Chia; JALIL, Abbe Maleyki Mhd; ISMAIL, Amin. Phenolic and theobromine contents of commercial dark, milk and white chocolates on the Malaysian market. **Molecules**, v. 14, n. 1, p. 200-209, 2009.
10. DE ALMEIDA MIRANDA, M. D. et al. O consumo de chocolate como símbolo de Dia dos Namorados: um estudo de caso da Cacau Show em Campos dos Goytacazes. **Revista Interdisciplinar Pensamento Científico**, v. 3, n. 1, 2017.
11. BRASIL. Presidência da República. Lei nº 8.078, de 11 de setembro de 1990. Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências. Disponível em: (link não informado). Acesso em: 22 nov. 2024.
12. BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. Instrução Normativa nº 75, de 8 de outubro de 2020. Estabelece os requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional nos alimentos embalados. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 out. 2020.

EXTRAÇÃO SÓLIDO-LÍQUIDO NO PROCESSAMENTO DE LICOR DE ABACAXI

SOLID-LIQUID EXTRACTION IN PINEAPPLE LIQUOR PROCESSING

DOI: 10.65747/conali2025v3c38

Caroline de Lima Santos[1]; Ercília Valverde Silva Mota[1]; Elayne Santos Silva[1]; Andrea Limoeiro Carvalho[2]; Abraão Brito Peixoto[3]; Taís Silva de Oliveira Brandão[3]

[1]Estudante do Curso de Engenharia de Alimentos – DTEC – UEFS; E-mail: selayne95@gmail.com
[2]Docente/pesquisador do Depto de Eng Química/Escola Politécnica – DEQ/EPoli – UFBA.
[3]Docente do Depto de Tecnologia – DTEC – UEFS.

Resumo: O abacaxi (*Ananas comosus* L.) é uma fruta tropical com elevado potencial nutricional e bioativo, mas perdas pós-colheita significativas ocorrem devido à sua perecibilidade. Este estudo investigou a cinética da extração sólido-líquido durante a maceração alcoólica para a produção de licor de abacaxi, com foco nos efeitos do tamanho da partícula, matriz vegetal (polpa e casca) e adição de hortelã (*Mentha spicata* L.) no rendimento de sólidos solúveis totais, pH, acidez titulável e compostos fenólicos totais (CFT). Oito tratamentos foram avaliados ao longo de 180 dias utilizando maceração estática com cachaça (18% v/v de etanol). Os resultados mostraram que partículas menores aumentaram a cinética de extração, com polpa finamente cortada (PP, 32 cm²) atingindo até 970,19 mg EAG/100 g de CFT aos 30 dias, enquanto a casca grande (CG, 170 cm²) alcançou valores superiores de 1.238,97 mg EAG/100 g no mesmo período. A casca demonstrou potencial superior à polpa na extração de compostos fenólicos, com a casca pequena (CP, 13 cm²) apresentando o maior rendimento (1.300,32 mg EAG/100 g). A adição de folhas de hortelã aumentou sinergicamente o rendimento fenólico e a complexidade constitucional em ambas as matrizes. O teste de Levene confirmou a homogeneidade das variâncias entre as triplicatas ($p > 0,05$), validando a precisão analítica. A modelagem matemática apresentou elevado ajuste ($R^2 > 0,97$), confirmando extração controlada por difusão. A metodologia de superfície de resposta revelou o tempo ótimo entre 15 e 30 dias, com a área superficial como fator dominante. Estes dados fornecem bases para otimização de processos em escala artesanal e industrial, promovendo a valorização integral de subprodutos do abacaxi e padronização de bebidas alcoólicas ricas em bioativos.

Palavras-chave: *Ananas comosus*; maceração alcoólica; compostos fenólicos totais; cinética de extração; metodologia de superfície de resposta

Abstract: Pineapple (*Ananas comosus* L.) is a tropical fruit with high nutritional and bioactive potential, yet significant post-harvest losses occur due to its perishability. This study investigates the solid-liquid extraction kinetics during alcoholic maceration for pineapple liqueur production, focusing on the effects of particle size, plant matrix (pulp and peel), and mint (*Mentha spicata* L.) addition on the yield of total soluble solids, pH, titratable acidity, and total phenolic compounds (TPC). Eight treatments were evaluated over 180 days

using a static maceration process with sugarcane spirit (18% v/v ethanol). Results showed that smaller particle sizes enhanced extraction kinetics, with fine-cut pulp (PP, 32 cm²) reaching up to 970.19 mg GAE/100g TPC at 30 days, while large peel (CG, 170 cm²) achieved superior values of 1,238.97 mg GAE/100g in the same period. Peel demonstrated superior potential to pulp for phenolic compound extraction, with small peel (CP, 13 cm²) showing the highest yield (1,300.32 mg GAE/100g). Adding mint leaves synergistically increased phenolic yield and constitutional complexity in both matrices. Levene's test confirmed variance homogeneity among triplicates ($p > 0.05$), validating analytical precision. Mathematical modeling provided an elevated fit ($R^2 > 0.97$), confirming diffusion-controlled extraction. Response surface methodology revealed optimal extraction within 15–30 days, with surface area as the dominant factor. These findings provide insights for process optimization in artisanal and industrial liqueur production, supporting comprehensive valorization of pineapple by-products and standardization of bioactive-rich alcoholic beverages.

Keywords: *Ananas comosus*; alcoholic maceration; total phenolic compounds; extraction kinetics; response surface methodology

INTRODUÇÃO

O abacaxi (*Ananas comosus* L.), nativo de países da América Latina, é uma das frutas tropicais mais populares. O fruto é rico em ácidos orgânicos, proteínas, fibras, minerais e vitaminas, e a sua produção se concentra em regiões de agricultura familiar. No entanto, algumas características como o alto teor de umidade e o tempo de colheita desfavorecem o consumo do abacaxi fresco, por isso, essa realidade evidencia a necessidade de adotar estratégias de aproveitamento de excedentes de produção, como forma de minimizar perdas, reduzir impactos ambientais e promover a inclusão social e econômica de pequenos produtores (1).

A utilização de técnicas adequadas de beneficiamento e do aproveitamento integral das frutas, como a produção de compotas, doces, farinhas e bebidas, representa uma alternativa eficaz no combate ao desperdício alimentar (2,3). Neste contexto, a elaboração de licores a partir de frutas excedentes ou fora do padrão de comercialização surge como uma solução tecnicamente viável, de fácil implementação e com potencial de geração de emprego e renda para agricultores familiares e agroindústrias de pequeno porte (4).

O processamento do licor é considerado simples, especialmente quando se trata de licores tradicionais. Ele se baseia essencialmente em duas etapas principais: (i) a extração sólido-líquido por imersão, na qual a fruta (fase sólida) é mantida em contato direto com o solvente hidroalcoólico, promovendo a solubilização de compostos desejáveis como açúcares, ácidos, compostos voláteis e fenólicos; e (ii) a adição de xarope ao extrato obtido, formando assim o licor final (5). Várias condições operacionais afetam diretamente a eficiência desse processo, incluindo a espécie vegetal, o grau de maturação da fruta, o tamanho das partículas da matéria-prima, o tipo e a concentração do solvente, o tempo ótimo de maceração e as condições de armazenamento (2,6).

Segundo Jesus Filho *et al.* (5), a etapa de extração é decisiva para a definição da qualidade final do produto, pois interfere diretamente na intensidade do aroma, cor, sabor e teor de compostos bioativos presentes no licor. O estudo da cinética de extração e da padronização dos parâmetros tecnológicos é, portanto, essencial para garantir um produto final com características físico-químicas e sensoriais estáveis e agradáveis ao consumidor. A padronização do processo contribui ainda para a viabilidade econômica da produção em escala artesanal ou industrial, além de facilitar o controle de qualidade e a adequação às exigências legais e de mercado.

Esta etapa do processo ocorre por extração sólido-líquido, uma operação unitária amplamente empregada na indústria alimentícia para a obtenção de compostos bioativos ou a remoção de substâncias indesejáveis de matrizes vegetais, como no processamento de licor de abacaxi. Esse processo envolve etapas como a penetração do solvente na matriz sólida, dissolução do soluto e difusão para o meio líquido, sendo a etapa mais lenta, normalmente a difusão interna, a limitante da taxa de extração. Nessa etapa, muitas vezes a taxa de extração se torna menor porque as paredes celulares são resistentes à difusão, e, para resolver isso, é recomendado reduzir a amostra em partículas menores aumentando a superfície de contato, pois, assim, durante a extração o solvente percorre distâncias mais curtas e chega a um maior número de células (5,7).

A eficiência deste processo depende de variáveis como o tipo de solvente, temperatura, agitação, umidade do sólido e tamanho das partículas. A transferência de massa pode ser descrita pela Lei de Fick, e seu desempenho é afetado pela porosidade e tortuosidade da matriz, expressas pelo coeficiente de difusão efetivo (D_{eff}). No caso do licor de abacaxi, a extração adequada é fundamental para garantir o rendimento e as características sensoriais do produto final, sendo essencial o controle rigoroso das condições de operação e das propriedades físico-químicas da matéria-prima (5,7).

Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo estudar a extração sólido-líquido de compostos do abacaxi durante o processamento de licor, avaliando os efeitos do tamanho da partícula da fruta sobre a eficiência do processo e a qualidade do extrato obtido.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido conforme metodologia experimental apresentada na Figura 1.

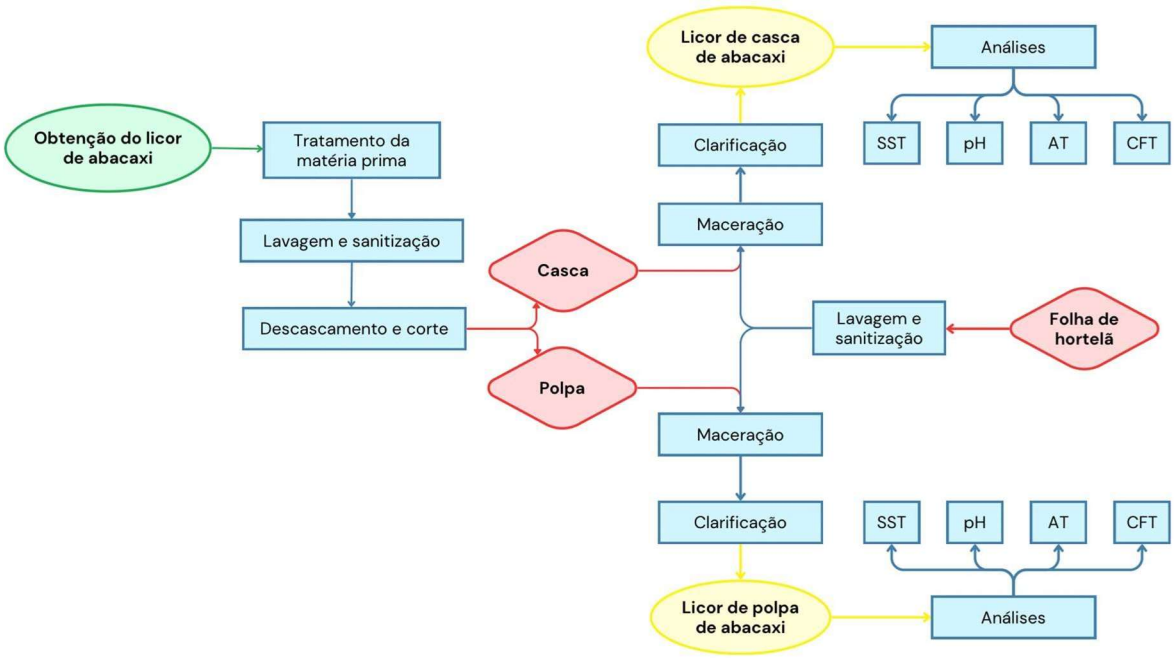


Figura 1 – Fluxograma da metodologia experimental

Matéria-prima e preparo

Frutos maduros e íntegros de abacaxi (*Ananas comosus* L.), e folhas de hortelã foram adquiridos em feiras livres na cidade de Feira de Santana, BA (12°15'20.912"S 38°57'41.123"O). Após seleção, os frutos e as folhas foram lavados por aspersão com água corrente e sanitizados por imersão em solução de hipoclorito de sódio a 150 ppm, por 10

minutos, sendo posteriormente escorridos. Os abacaxis foram descascados manualmente com facas de aço inoxidável higienizadas e cortados conforme os tratamentos propostos, utilizando polpa ou casca com diferentes dimensões:

- Polpa Grande (PG): 91 cm^2
- Polpa Pequena (PP): 32 cm^2
- Casca Grande (CG): 170 cm^2
- Casca Pequena (CP): 13 cm^2

Extração por maceração alcoólica

A extração sólido-líquido foi realizada por maceração estática direta, com infusão em etanol por 180 dias. Foram utilizados 750 g de matéria-prima para cada 500 mL de cachaça (18% v/v), com base na metodologia de Teixeira *et al.* (8). Foram avaliados oito tratamentos (Quadro 1), com e sem adição de folhas frescas de hortelã:

Quadro 1 – Tratamentos

Tratamento	Descrição
PG SH	Polpa grande, sem hortelã
PG CH	Polpa grande, com hortelã
PP SH	Polpa pequena, sem hortelã
PP CH	Polpa pequena, com hortelã
CG SH	Casca grande, sem hortelã
CG CH	Casca grande, com hortelã
CP SH	Casca pequena, sem hortelã
CP CH	Casca pequena, com hortelã

Análises físico-químicas

Após o período de maceração, os extratos foram analisados quanto aos seguintes parâmetros: Sólidos solúveis totais (°Brix) medidos em refratômetro digital (Reichert, AR200), pH determinado com pHmetro digital (Nova Instruments, NI PHM), e Acidez titulável titulada com NaOH 0,1 N, utilizando fenolftaleína como indicador, e os resultados foram expressos em g de ácido cítrico por 100 mL conforme metodologia descrita em IAL - Instituto Adolfo Lutz (9). Compostos fenólicos totais foram determinados pelo método de Folin-Ciocalteu (10), com leitura da absorbância a 760 nm. Os resultados foram expressos em mg de equivalentes de ácido gálico por 100 g de amostra ($mg \cdot EAG \cdot 100\ g^{-1}$), utilizando curva padrão de ácido gálico (11).

Análise Estatística

Os dados experimentais foram submetidos à análise estatística para avaliar a significância dos fatores estudados. Para verificar a homogeneidade das variâncias entre as triplicatas de cada condição experimental, foi aplicado o Teste de Levene, amplamente utilizado para verificar a suposição de igualdade de variâncias, pré-requisito para diversos testes paramétricos, como a Análise de Variância (ANOVA). O Teste de Levene é robusto a desvios da normalidade e é preferível ao teste de Bartlett quando a distribuição dos dados não é normal (12,13). A hipótese nula (H_0) define que as variâncias dos grupos são iguais, enquanto a hipótese alternativa (H_1) define que pelo menos uma variância é diferente. Um valor de $p > 0,05$ indica que não há evidências suficientes para rejeitar H_0, ou seja, as variâncias podem ser consideradas homogêneas. As análises foram realizadas utilizando o software Python com a biblioteca SciPy.

Modelagem Matemática

O tratamento dos dados foi realizado com uso do Software Cadmo, estruturado em Matlab 2016a, cuja significância foi $p \leq 0,05$, seguindo a proposta de Bispo et al. (14).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estatística de Levene

Os resultados do Teste de Levene, apresentados na Tabela 1, são importantes para validar a consistência dos dados experimentais obtidos para a extração de compostos fenólicos. Para todos os oito tratamentos avaliados (polpa grande/pequena, com/sem hortelã; casca grande/pequena, com/sem hortelã), os valores de p foram significativamente superiores a 0,05 (nível de significância adotado de 5%).

Tabela 1 - Valores calculados para o Teste de Levene, relativo à análise de variância para a concentração de fenólicos, obtida em triplicata.

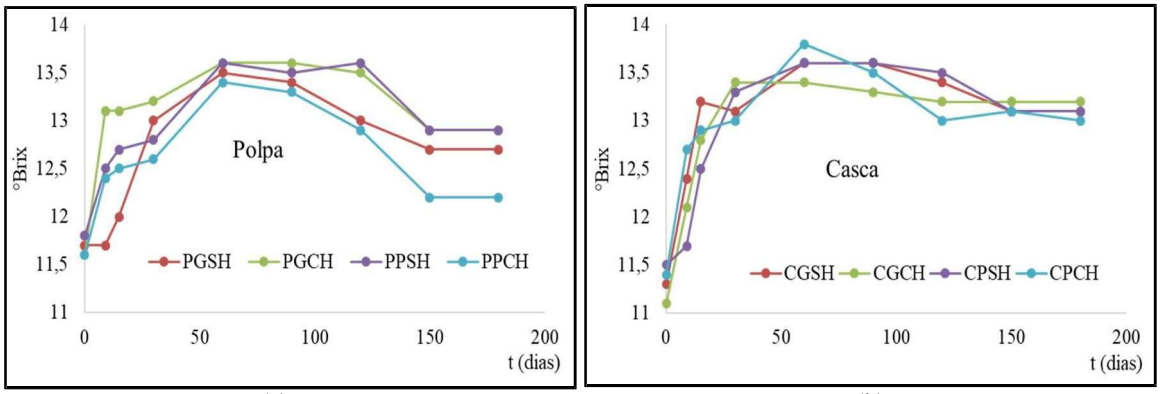
Tratamento	Estatística de Levene	Valor p	Homogeneidade de Variâncias (p > 0,05)
PGSH	0,0151	0,9850	Sim
PGCH	0,0287	0,9718	Sim
PPSH	0,3316	0,7210	Sim
PPCH	0,0258	0,9745	Sim
CGSH	0,0044	0,9956	Sim
CGCH	0,0089	0,9911	Sim
CPSH	0,0411	0,9598	Sim
CPCH	0,1916	0,8269	Sim

Os valores de p variaram de 0,7210 (PP SH) a 0,9956 (CG SH). Estes resultados indicam que não há evidências estatísticas para rejeitar a hipótese nula de que as variâncias entre as triplicatas são homogêneas para cada condição experimental. Portanto, a dispersão dos dados dentro de cada conjunto de triplicatas é estatisticamente similar, confirmando a baixa variabilidade e a alta precisão das medições realizadas.

A homogeneidade das variâncias é um pressuposto fundamental para a aplicação de testes estatísticos paramétricos, como a Análise de Variância (ANOVA), que podem ser utilizados para comparar as médias dos diferentes tratamentos. A confirmação da homogeneidade das variâncias pelo Teste de Levene reforça a confiabilidade dos dados e a validade das conclusões tiradas a partir das análises subsequentes, garantindo que as diferenças observadas entre os tratamentos são atribuíveis aos fatores experimentais (tipo de matriz, tamanho da partícula, presença de hortelã) e não a uma variabilidade intrínseca e inconsistente das medições.

Variação dos sólidos solúveis totais (°Brix)

Durante os 180 dias de infusão alcoólica, observou-se um aumento gradual no teor de sólidos solúveis (°Brix) nos extratos obtidos de todas as combinações de matéria-prima (polpa e casca) e tratamentos. Esse aumento indica a transferência eficiente de açúcares e solutos da fruta para o meio hidroalcoólico. Os tratamentos com cortes menores (PP e CP) apresentaram valores mais elevados de °Brix em menor tempo (Figura 2), o que confirma a influência positiva da redução do tamanho de partícula na taxa de difusão dos solutos, conforme observado também por Simões *et al.* (2). Ao final do período, os valores tenderam à estabilização, sugerindo o equilíbrio da extração.



(a) (b)

Figura 2 - Variação da concentração de sólidos solúveis (°Brix) durante a extração de fenólicos para: (a) polpa e (b) casca.

Comportamento do pH nos diferentes tratamentos

O pH dos extratos manteve-se relativamente estável durante todo o processo, apresentando apenas pequenas variações entre os diferentes tratamentos. Inicialmente, os valores oscilaram entre 4,3 e 4,5, mantendo-se próximos a essa faixa até o término dos 180 dias de armazenamento. Comportamento semelhante foi descrito por Simões *et al.* (2) durante a maceração, em que a variação do pH foi atribuída à extração sólido-líquido de ácidos orgânicos naturalmente presentes na amostra. A manutenção do pH em uma faixa levemente ácida contribui para a estabilidade microbiológica do produto final, efeito associado à presença de compostos como os ácidos cítrico, málico e ascórbico, característicos do abacaxi. Esses resultados corroboram as observações de Jesus Filho *et al.* (5), que também relataram discretas alterações no pH ao longo da maceração alcoólica de frutas.

Teor de compostos fenólicos (absorbância média)

Os compostos fenólicos extraídos foram avaliados e suas cinéticas de extração são apresentadas nas Figuras 3 e 4. A Figura 3 exibe os dados experimentais brutos, enquanto a Figura 4 mostra os dados ajustados pelo modelo. Ambas as figuras permitem uma análise comparativa aprofundada entre a polpa e a casca, com e sem hortelã, e em diferentes tamanhos de partícula.

Observa-se em ambas as Figuras a cinética bifásica típica da extração sólido-líquido: uma fase inicial rápida, impulsionada por um alto gradiente de concentração e pela solubilização de compostos superficiais, seguida por uma fase mais lenta, controlada pela difusão interna dos solutos através da matriz vegetal (15).

Os dados revelam que a casca do abacaxi possui um potencial significativamente maior para a extração de compostos fenólicos em comparação com a polpa. A polpa finamente cortada (PP, 32 cm²) sem hortelã (Figuras 3a e 4a) atingiu um pico de 970,19 mg EAG/100 g aos 30 dias. Em contraste, a casca grande (CG, 170 cm²) sem hortelã (Figuras 3c e 4c) alcançou 1.045,51 mg EAG/100 g no mesmo período, e a casca pequena (CP, 13 cm²) sem hortelã apresentou o maior rendimento, com 1.300,32 mg EAG/100 g. Estes dados ganham relevância ao passo que a casca é frequentemente descartada como resíduo agroindustrial, e seu reaproveitamento pode resultar em vantagens econômicas e ambientais ao processo (16). A maior concentração de fenólicos na casca pode ser atribuída à sua função protetora na planta, acumulando compostos secundários para defesa contra estresses ambientais (17).

Em ambos os casos (polpa e casca), a redução do tamanho da partícula (aumento da área superficial) resultou em maior eficiência de extração. Para a polpa, a PP (32 cm²) superou a PG (91 cm²). Para a casca, a CP (13 cm²) superou a CG (170 cm²). Este resultado está em total conformidade com a Lei de Fick de difusão, que estabelece que a taxa de transferência de massa é diretamente proporcional à área de contato entre o sólido e o solvente (18). Partículas menores expõem uma maior área superficial para o solvente, encurtam o caminho de difusão dos solutos e facilitam a liberação dos compostos fenólicos da matriz celular (19, 20).

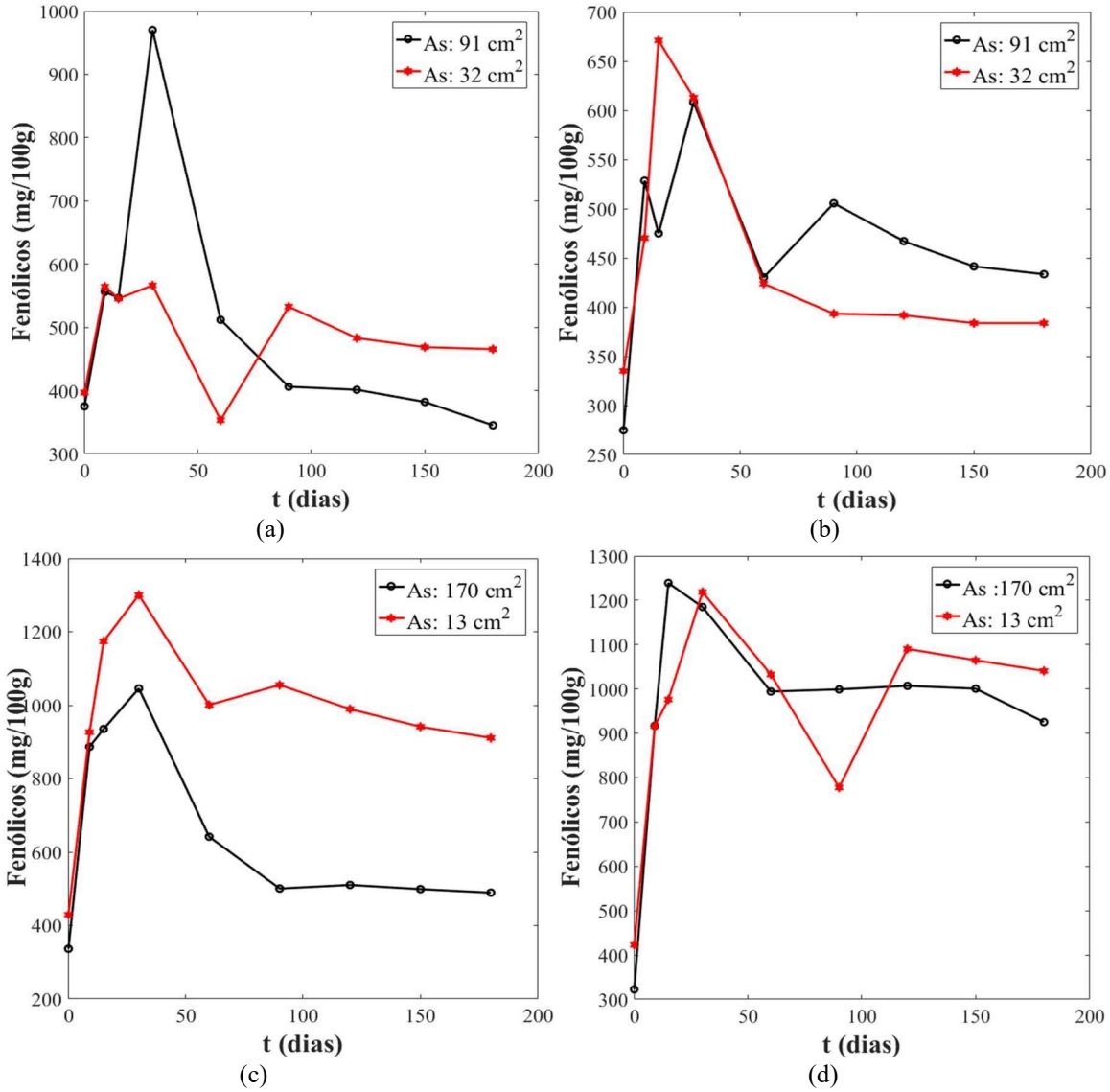


Figura 3 – Dados experimentais obtidos para os fenólicos extraídos da: (a) polpa sem hortelã; (b) polpa com hortelã; (c) casca sem hortelã; e (d) casca com hortelã

A adição de hortelã (*Mentha spicata* L.) demonstrou um efeito sinérgico na extração e, principalmente, na estabilidade dos compostos fenólicos. Nos tratamentos com hortelã (CH) (Figuras 3b, 3d, 4b e 4d), embora o pico de extração possa ser ligeiramente menor em alguns casos (e.g., PG CH vs. PG SH), a degradação pós-pico dos fenólicos é visivelmente atenuada, e as concentrações se mantêm mais elevadas por períodos prolongados. Isso sugere que os compostos antioxidantes presentes na hortelã, como ácidos fenólicos e flavonoides, atuam como agentes protetores, inibindo a oxidação e a degradação enzimática dos fenólicos

do abacaxi (21,22). Este efeito é importante para a manutenção da qualidade e bioatividade do licor ao longo do tempo de armazenamento.

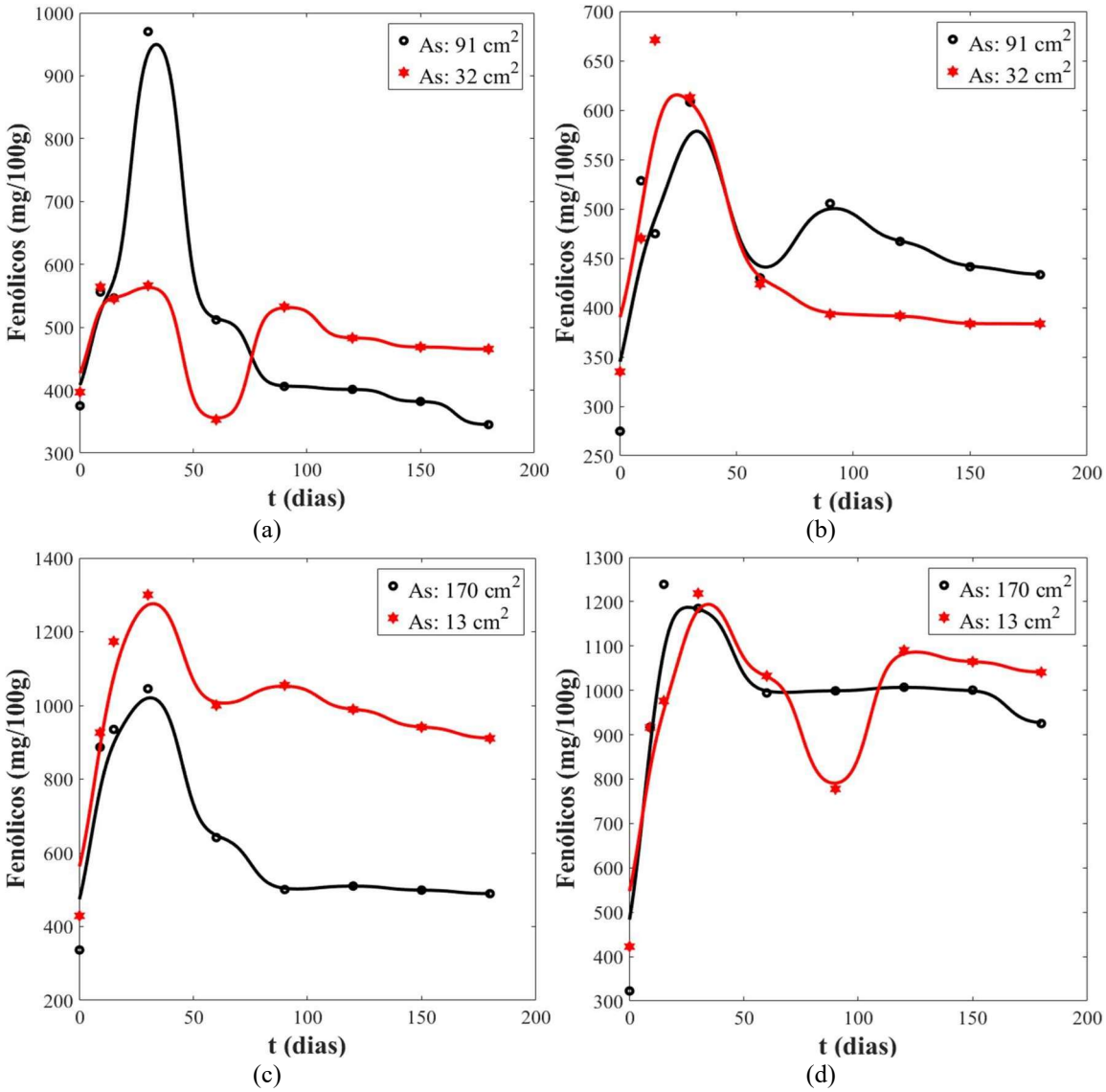


Figura 4 – Dados experimentais ajustados pelo modelo, obtidos para os fenólicos extraídos de: (a) polpa sem hortelã; (b) polpa com hortelã; (c) casca sem hortelã; e (d) casca com hortelã.

A Figura 5 apresenta os resíduos dos modelos ajustados para a polpa e a casca, com e sem hortelã. A análise de resíduos é fundamental para avaliar a adequação do modelo matemático aos dados experimentais.

Um bom ajuste é caracterizado por resíduos distribuídos aleatoriamente em torno de zero, sem padrões visíveis (e.g., forma de funil, curva). A ausência de padrões indica que o modelo capturou a maior parte da variabilidade dos dados e que não há vícios sistemáticos (23). A análise visual das Figuras dos resíduos sugere um ajuste razoável para a maioria dos tratamentos, embora em alguns casos (especialmente para a casca), possa haver alguma tendência, indicando a necessidade de refinar o modelo ou considerar variáveis adicionais. A baixa dispersão entre as triplicatas, confirmada pelo Teste de Levene, reforça a confiabilidade dos dados experimentais utilizados para o ajuste do modelo.

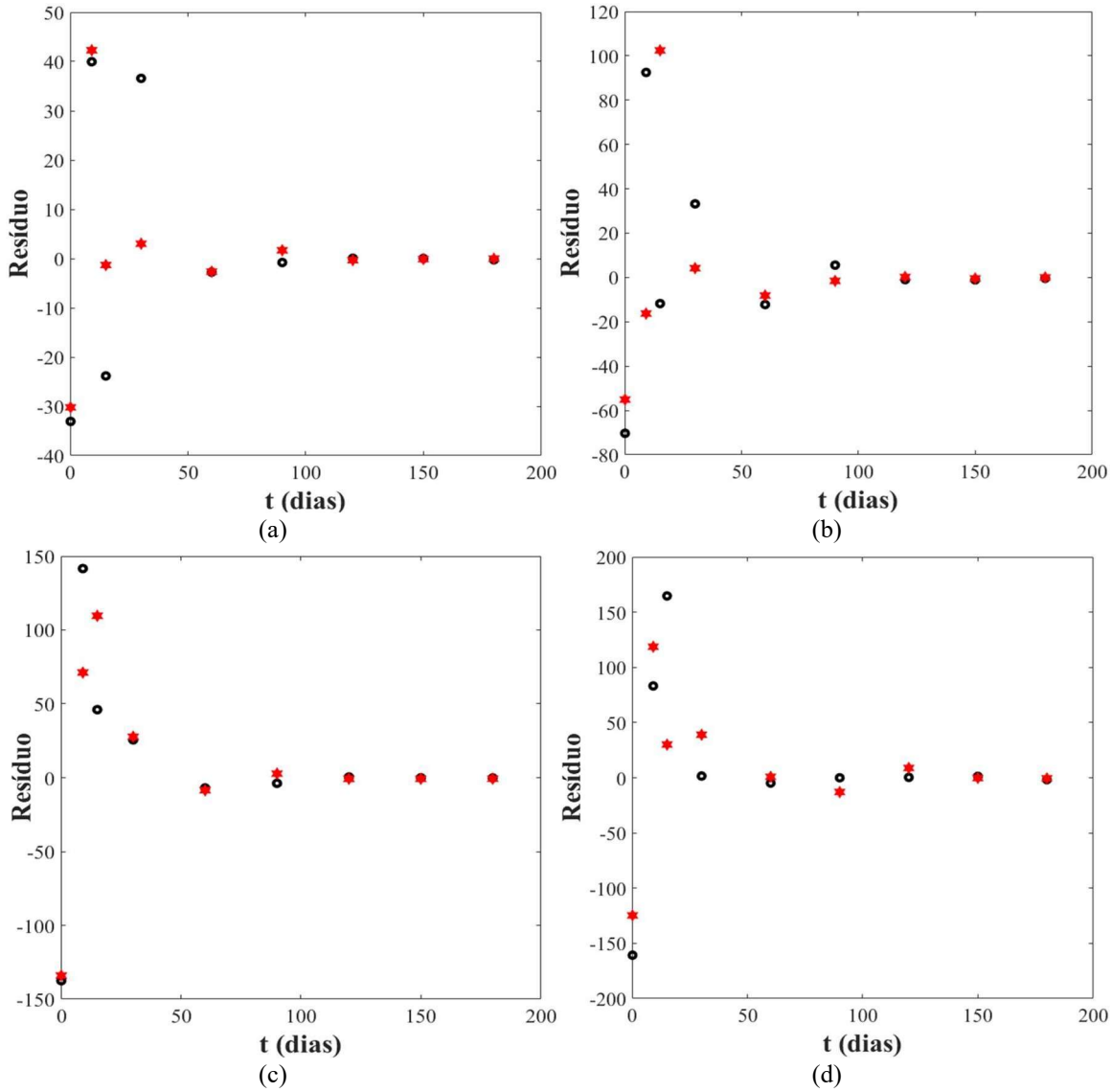


Figura 5 – Resíduos dos modelos utilizados para o ajuste, obtidos para os fenólicos extraídos de: (a) polpa sem hortelã; (b) polpa com hortelã; (c) casca sem hortelã; e (d) casca com hortelã.

As Figuras 6 (superfícies de resposta) e 7 (curvas de contorno) fornecem uma visão multidimensional da relação entre a concentração de fenólicos, o tempo de extração e a área superficial.

As superfícies de resposta mostram os picos de extração e as regiões de degradação, enquanto os contornos são projeções bidimensionais que permitem identificar as combinações de tempo e área superficial que resultam em concentrações específicas de fenólicos. Essas ferramentas são importantes no contexto da otimização do processo, permitindo a identificação de condições ideais para maximizar o rendimento de fenólicos (24).

As superfícies de resposta para a casca (Figuras 6c e 6d) demonstram picos de concentração de fenólicos significativamente mais elevados e, em alguns casos, uma maior estabilidade em comparação com a polpa (Figuras 6a e 6b). Isso reforça o potencial da casca como fonte rica em compostos bioativos. A análise dessas superfícies permite visualizar as interações complexas entre o tempo de maceração e a área superficial, e como essas interações afetam o rendimento de fenólicos em cada matriz.

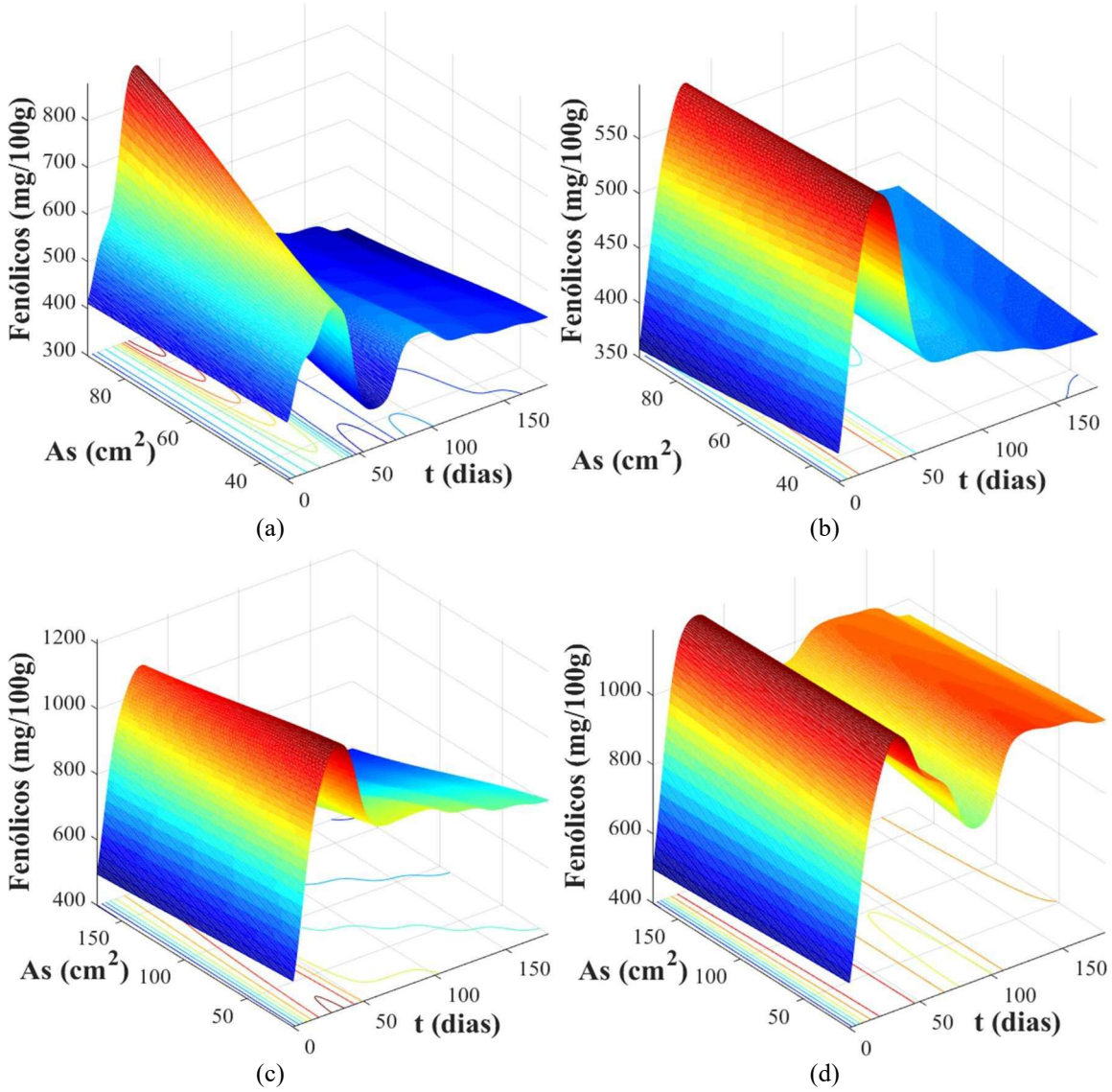


Figura 6 - Superfícies de resposta para os dados experimentais ajustados pelo modelo obtidos para os fenólicos extraídos de: (a) polpa sem hortelã; (b) polpa com hortelã; (c) casca sem hortelã; e (d) casca com hortelã.

Para a polpa, as superfícies de resposta e as curvas de contorno indicam que a concentração de fenólicos atinge um pico em tempos intermediários (aproximadamente entre 15 e 30 dias) e com áreas superficiais menores (correspondentes a partículas menores). Para a polpa sem hortelã (Figuras 6a e 7a), o pico de extração para a polpa pequena (32 cm²) foi de aproximadamente 970 mg EAG/100 g aos 30 dias. A polpa grande (91 cm²) apresentou valores de pico inferiores, confirmando que a redução da área superficial é um fator limitante. As curvas de contorno para a polpa (Figuras 7a e 7b) mostram regiões de alta concentração de fenólicos que se concentram em torno desses tempos e áreas superficiais, com declínios acentuados após o pico, indicando degradação ou saturação.

Em contraste, as Figuras para a casca revelam um potencial de extração significativamente maior. A casca pequena (13 cm²) sem hortelã (Figuras 6c e 7c) atingiu concentrações de fenólicos que superam 1.300 mg EAG/100 g, um valor notavelmente superior ao da polpa. Mesmo a casca grande (170 cm²) sem hortelã alcançou valores próximos de 1.045 mg EAG/100 g, superando o pico da polpa pequena. As superfícies de resposta para a casca são mais elevadas e as curvas de contorno mostram concentrações semelhantes que se estendem para valores mais altos, indicando uma maior capacidade de

liberação de fenólicos e, em alguns casos, uma maior estabilidade em tempos prolongados, especialmente com a adição de hortelã. A presença de hortelã (Figuras 7b e 7d), em ambos os casos (polpa e casca), tende a alargar as regiões de alta concentração nas curvas de contorno, sugerindo um efeito protetor contra a degradação dos fenólicos, permitindo que concentrações elevadas sejam mantidas por mais tempo.

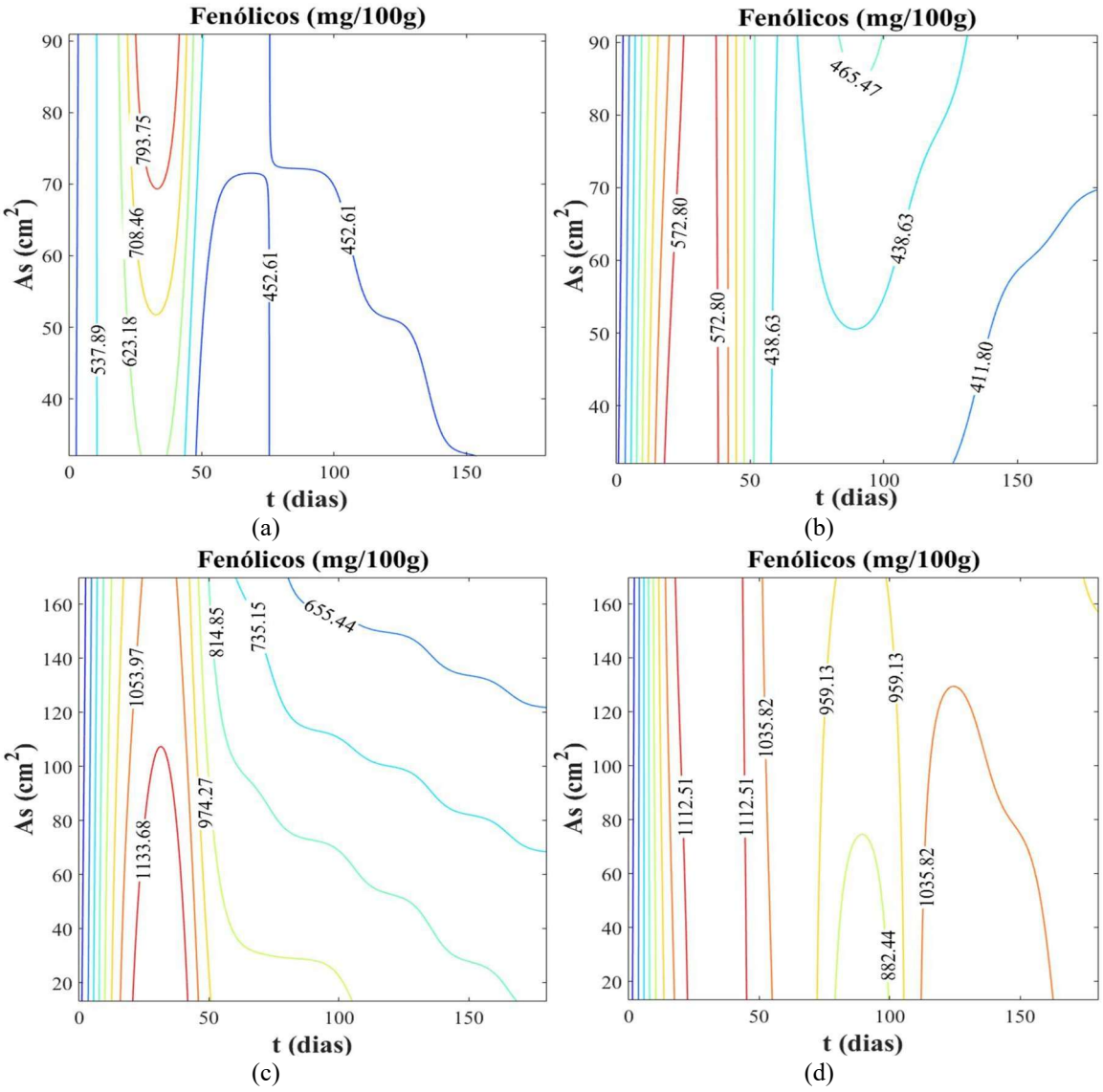


Figura 7 - Curvas de contorno para os dados experimentais ajustados pelo modelo obtidos para os fenólicos extraídos de: (a) polpa sem hortelã; (b) polpa com hortelã; (c) casca sem hortelã; e (d) casca com hortelã.

As Figuras 8 e 9 (produtividade) e 10 e 11 (produtividade relativa à variação de área superficial) fornecem inferências sobre a eficiência do processo de extração em termos de quantidade de fenólicos extraídos por unidade de tempo e por unidade de área superficial. A produtividade é um parâmetro fundamental para a otimização de processos em escala industrial, pois relaciona o rendimento com o tempo de processo (25).

As superfícies e contornos de produtividade (Figuras 8 e 9) confirmam que a casca, especialmente a casca pequena, apresenta maior produtividade na extração de fenólicos. Isso significa que, além de um maior rendimento total, a casca permite uma extração mais rápida e eficiente dos compostos bioativos. Este dado é fundamental para a viabilidade econômica da utilização da casca em larga escala.

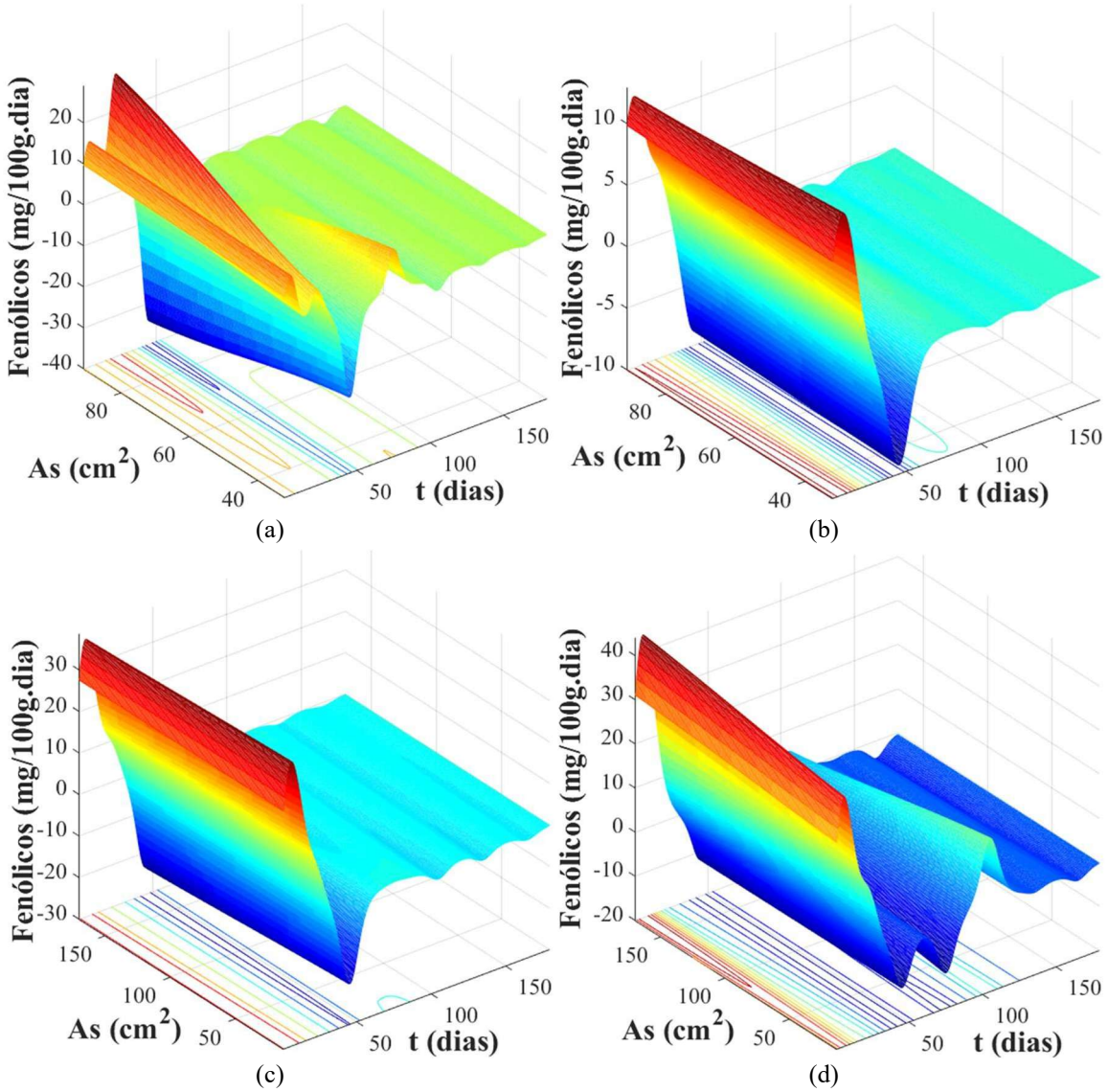


Figura 8 - Superfícies de resposta da produtividade obtida para os fenólicos extraídos de: (a) polpa sem hortelã; (b) polpa com hortelã; (c) casca sem hortelã; e (d) casca com hortelã.

Para a polpa (Figuras 8a e 8b), as superfícies de produtividade mostram que os maiores valores são alcançados em tempos iniciais e intermediários, e com partículas menores (maior área superficial). Embora os valores exatos de produtividade não estejam explicitamente rotulados em todas as superfícies, as regiões de pico indicam que a polpa pequena (32 cm²) sem hortelã, por exemplo, atinge sua máxima produtividade em torno de 15 a 30 dias. Após esse período, a produtividade tende a diminuir, refletindo a desaceleração da extração e, posteriormente, a degradação dos compostos fenólicos. As curvas de contorno da polpa (Figuras 9a e 9b) ilustram as combinações de tempo e área superficial que resultam em níveis específicos de produtividade, com as regiões mais densas indicando maior eficiência.

Em uma comparação direta, as Figuras 8c e 8d, de produtividade para a casca, demonstram um desempenho superior em relação à polpa. A casca, especialmente a casca pequena (13 cm²), exibe superfícies de produtividade mais elevadas e mais amplas, indicando que não apenas uma maior quantidade de fenólicos é extraída, mas também que essa extração ocorre de forma mais rápida e eficiente. A casca pequena sem hortelã (Figuras 8c e 9c) pode apresentar picos de produtividade que superam significativamente os da polpa sem hortelã (Figuras 8a e 9a), atingindo e mantendo altas taxas de extração por períodos

mais prolongados. As curvas de contorno para a casca (Figuras 9c e 9d) mostram concentrações semelhantes de produtividade que se estendem para valores mais altos, confirmando a maior eficiência da casca como matriz de extração.

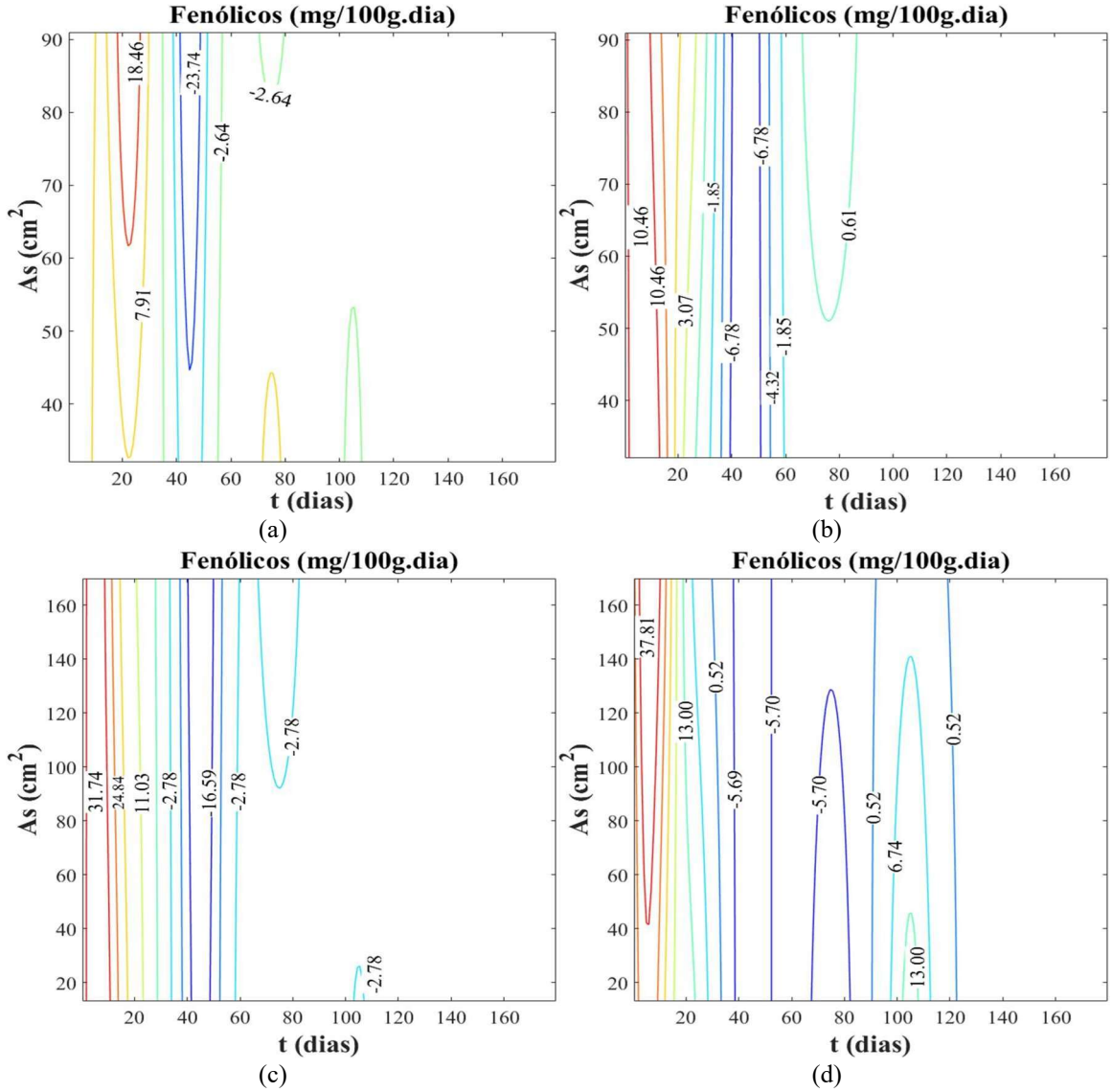


Figura 9 - Curvas de contorno da produtividade obtidas para os fenólicos extraídos de: (a) polpa sem hortelã; (b) polpa com hortelã; (c) casca sem hortelã; e (d) casca com hortelã.

As Figuras 10 e 11, que mostram a produtividade relativa à variação de área superficial, são particularmente importantes para entender a contribuição de cada unidade de área superficial para a extração de fenólicos. Essas Figuras podem revelar se há um ponto de saturação ou se a eficiência da extração por área superficial diminui após um certo ponto. A análise dessas curvas permite otimizar não apenas o tamanho da partícula, mas também a quantidade de matéria-prima utilizada para maximizar a extração de fenólicos (20).

Para a polpa, as superfícies e curvas de contorno da produtividade relativa à área superficial (Figuras 10a, 10b, 11a e 11b) demonstram que a eficiência por unidade de área é maior em tempos iniciais e com partículas menores (maior área superficial específica). Embora os valores numéricos exatos da produtividade relativa não estejam explicitamente rotulados nas superfícies, as regiões de pico indicam que a polpa pequena (32 cm²) sem hortelã, por exemplo, apresenta uma maior contribuição por cm² de área superficial nos

primeiros 15 a 30 dias. Após esse período, a eficiência por área superficial tende a diminuir, sugerindo que a saturação do solvente ou a degradação dos compostos fenólicos começa a impactar a taxa de extração por unidade de área. As curvas de contorno da polpa mostram as combinações de tempo e área superficial que otimizam a produtividade relativa, com as regiões mais concentradas indicando a máxima eficiência.

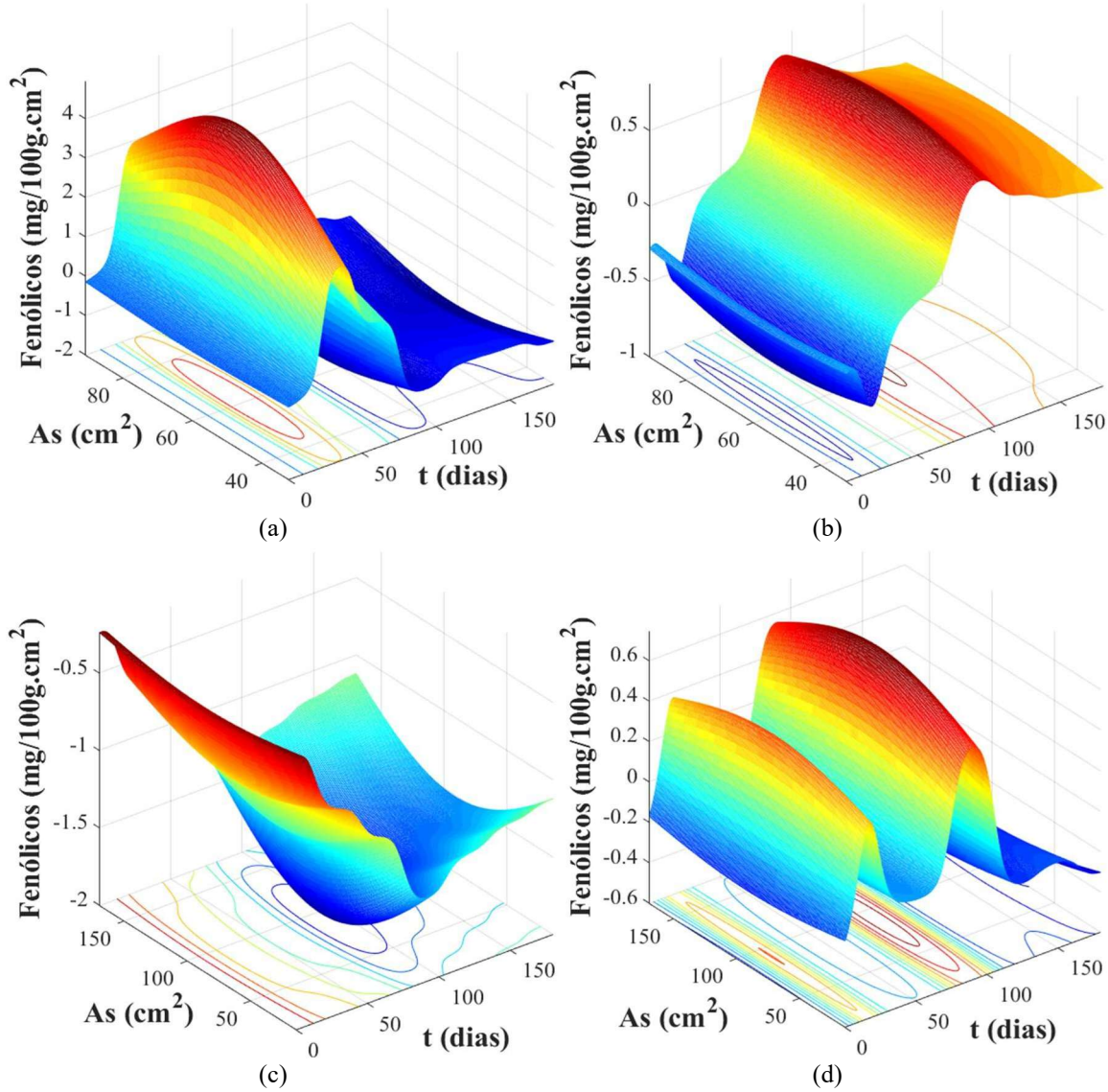


Figura 10 - Superfícies de resposta da produtividade relativa à variação de área superficial obtida para os fenólicos extraídos de: (a) polpa sem hortelã; (b) polpa com hortelã; (c) casca sem hortelã; e (d) casca com hortelã.

Em comparação com a polpa, as Figuras 10c, 10d, 11c e 11d, para a casca, revelam uma produtividade relativa à área superficial significativamente superior. A casca pequena (13 cm²) exibe as maiores eficiências por unidade de área, indicando que cada centímetro quadrado de sua superfície contribui de forma mais expressiva para a extração de fenólicos. Isso é particularmente notável, pois a casca pequena tem a menor área superficial total, mas a maior eficiência relativa. Mesmo a casca grande (170 cm²) demonstra uma produtividade relativa por área superficial competitiva ou superior à da polpa, reforçando o seu potencial como fonte de fenólicos. As superfícies de resposta para a casca são mais elevadas e as curvas de contorno mostram isoconcentrações de produtividade relativa que se estendem

para valores mais altos, indicando uma maior capacidade de liberação de fenólicos por unidade de área e, em alguns casos, uma maior estabilidade em tempos prolongados.

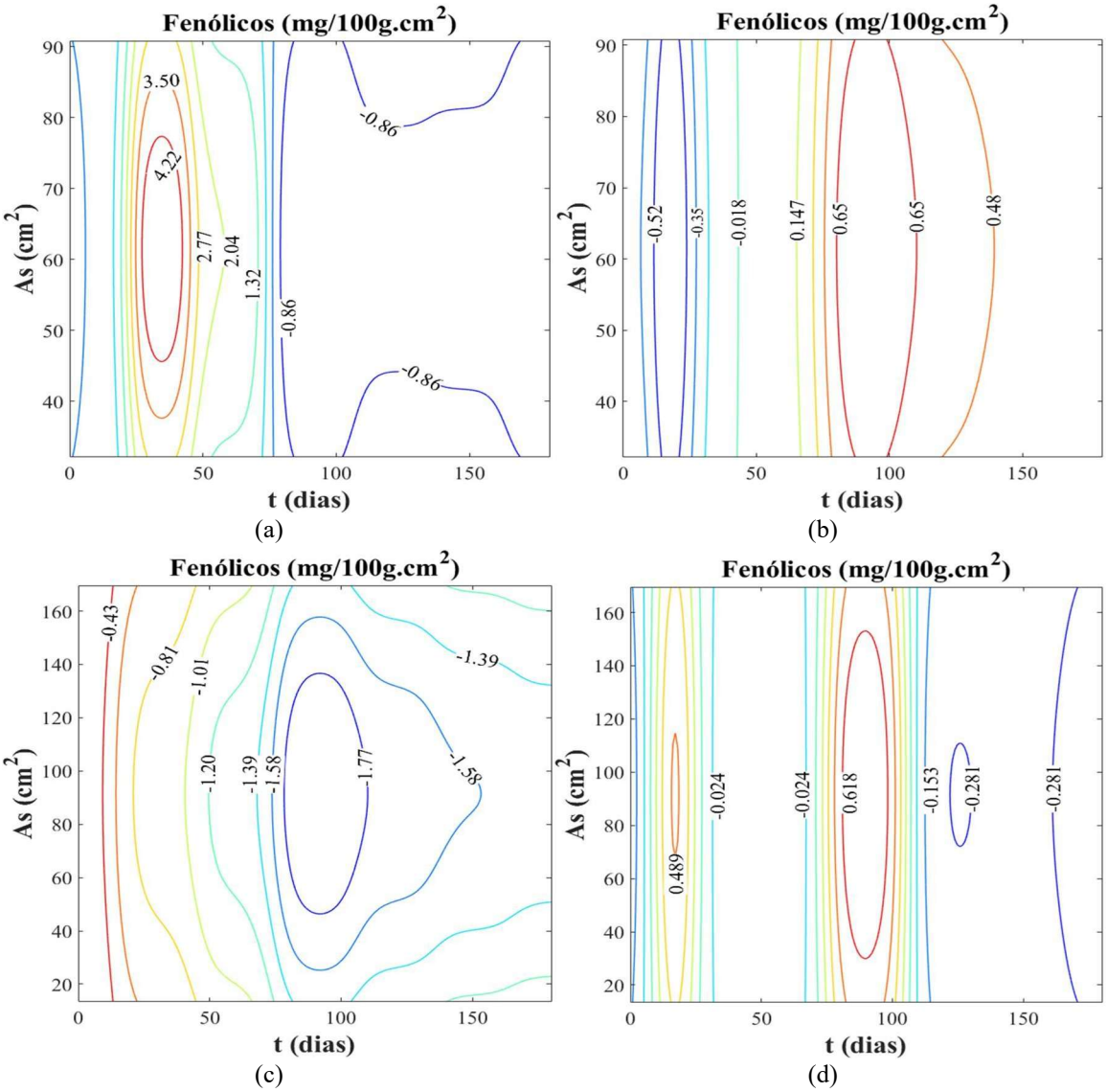


Figura 11 - Curvas de contorno da produtividade relativa à variação de área superficial obtida para os fenólicos extraídos da: (a) polpa sem hortelã; (b) polpa com hortelã; (c) casca sem hortelã; e (d) casca com hortelã.

Os resultados deste estudo têm implicações tecnológicas significativas para a indústria de alimentos e bebidas. A otimização da extração de fenólicos do abacaxi, incluindo a valorização da casca, um subproduto abundante da indústria de processamento de frutas, contribui para a redução de resíduos agroindustriais e para o desenvolvimento de produtos com maior valor agregado. A incorporação de hortelã como um agente estabilizador natural representa uma estratégia inovadora para aumentar a vida útil e a qualidade nutricional de bebidas funcionais.

Do ponto de vista científico, este trabalho aprofunda o conhecimento sobre a cinética de extração de fenólicos em sistemas complexos, considerando a interação entre o tamanho da partícula e a presença de uma segunda matriz vegetal com propriedades antioxidantes. A análise detalhada das curvas de extração, superfícies de resposta e derivadas fornece inferências valiosas sobre os mecanismos de transferência de massa e as reações de degradação. A metodologia empregada, combinando experimentação, modelagem

matemática e análise de superfície de resposta, pode ser replicada para otimizar a extração de outros compostos bioativos de diferentes matrizes alimentícias.

CONCLUSÕES

A extração sólido-líquido de compostos fenólicos do abacaxi é significativamente influenciada pela área superficial da matriz vegetal e pela presença de hortelã. A casca do abacaxi demonstrou ser uma fonte promissora de fenólicos, superando a polpa em rendimento e produtividade, especialmente em partículas menores. A adição de hortelã atuou como um agente estabilizador, mitigando a degradação dos fenólicos ao longo do tempo. O Teste de Levene confirmou a homogeneidade das variâncias entre as triplicatas, validando a precisão dos dados. A otimização do processo, com base na área superficial e no tempo de maceração, é importante para maximizar a recuperação de compostos bioativos. Estes cenários promovem a valorização integral do abacaxi, oferecendo subsídios para o desenvolvimento de bebidas funcionais e a redução de resíduos agroindustriais, com implicações diretas para a sustentabilidade e a economia circular.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelas bolsas de iniciação científica concedidas; Auxílio Financeiro a Projetos de Pesquisa e Inovação (FINAPESQ - UEFS) pelo financiamento de pesquisa.

REFERÊNCIAS

(1) WU, W.; XIAO, G.; YU, Y.; XU, Y.; WU, J.; PENG, J.; LI, L. Effects of high pressure and thermal processing on quality properties and volatile compounds of pineapple fruit juice. **Food Control**, v. 130, 108293, 2021. DOI: 10.1016/j.foodcont.2021.108293

(2) SIMÕES, L. de S.; TEIXEIRA, L. J. Q.; SARAIVA, S. H.; JUNQUEIRA, M. da S. Estudo da extração dos componentes do abacaxi em função do teor alcoólico e do tamanho da partícula para a produção de licor. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 16, n. 3, p. 239-246, 2014.

(3) SÁ, A. A. de; MESSIAS, C. M. B. de O. Desenvolvimento de produtos alimentícios a partir do aproveitamento integral dos alimentos com destaque para manga e banana: revisão de literatura. *In*: VERRUCK, S. (org.). **Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 6. Guarujá, SP: Editora Científica Digital, 2022. cap. 7, p. 85-101. DOI: 10.37885/220207735

(4) TEIXEIRA, L. J. Q.; SIMÕES, L. de S.; ROCHA, C. T. da; SARAIVA, S. H.; JUNQUEIRA, M. da S. Tecnologia e processamento de licor de frutas. **Enciclopédia Biosfera**, v.7, n.12, 2011.

(5) DE JESUS FILHO, M.; DO CARMO, L. B.; MACIEL, K. S.; TEIXEIRA, L. J. Q.; SARAIVA, S. H. Tecnologia do processamento de licor: da extração ao envelhecimento. *In*: **Tópicos especiais em ciência e tecnologia de alimentos**. v. 1. Vitória: EDUFES, 2020. 334 p. Cap. 15.

(6) FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática.** 2 ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. ISBN 85-363-0652-1

(7) CHANIOTI, S.; LIADAKIS, G.; TZIA, C. Solid-liquid extraction. *In*: Varzakas, T., Tzia, C. **Food Engineering Handbook**. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, p. 253, 2014. Cap. 6, p. 253-286.

(8) TEIXEIRA, L. J. Q.; SIMÕES, L. de S.; SARAIVA, S. H.; JUNQUEIRA, M. da S.; SARTORI, M. A. Determinação da proporção de açúcar e fruta necessários para conferir os atributos ideais ao licor de abacaxi. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 14, p. 1883-2012, 2012.

(9) INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz.** v. 4: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 3. ed. São Paulo: IMESP, 2008.

(10) SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, p. 144-158, 1965. DOI: 10.5344/ajev.1965.16.3.144

(11) BRANDÃO, T. S. O.; PINHO, L. S.; TESHIMA, E.; DAVID, J. M.; RODRIGUES, M. I. Optimization of a technique to quantify the total phenolic compounds in jambolan (*Syzygium cumini* Lamark) pulp. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 22, e2018158, 2019. DOI: 10.1590/1981-6723.15818

(12) LEVENE, H. Robust tests for equality of variances. *In*: OLKIN, I. **Contributions to probability and statistics**. Stanford University Press, p. 278-292, 1960.

(13) BROWN, M. B.; FORSYTHE, A. B. Robust tests for the equality of variances. **Journal of the American Statistical Association**, v. 69, n. 346, p. 364-367, 1974. DOI: 10.1080/01621459.1974.10482955

(14) BISPO, J. A. C.; BONAFE, C. F. S.; SANTANA, K. M. O. V.; SANTOS, E. C. A. A comparison of drying kinetics based on the degree of hydration and moisture ratio. LWT - Food Science and Technology, v. 60, n. 1, p. 192-198, 2015. DOI: 10.1016/j.lwt.2014.07.014.

(15) AZMIR, J.; ZAIDUL, I. S. M.; RAHMAN, M. M.; SHARIF, K. M.; MOHAMED, A.; SAHENA, F.; JAHURUL, M. H. A.; GHAFOOR, K.; NORULAINI, N. A. N.; OMAR, A. K. M. Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 117, n. 4, p. 506-516, 2013. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014

(16) POLANÍA, A. M.; LONDOÑO, L.; RAMÍREZ, C.; BOLÍVAR, G.; AGUILAR, C. N. Valorization of pineapple waste as novel source of nutraceuticals and biofunctional compounds. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 13, p. 3593–3618, 2023. DOI: 10.1007/s13399-022-02811-8

(17) SANAHUJA, A. B.; GARCÍA, A. V.; BAENAS, N.; FERRANDO, B. O.; PERIAGO, M. J.; ALONSO, N. C.; SÁNCHEZ, R.; TODOLÍ, J. L. Valorization of pineapple core waste for sequential extraction of phenolic compounds and carotenoids: optimization through ultrasound-assisted method and Box–Behnken design. **Food and Bioprocess Technology**, v. 18, p. 2618–2631, 2025. DOI: 10.1007/s11947-024-03620-9

(18) CRANK, J. **The mathematics of diffusion**. 2. ed. Oxford: Clarendon Press, 1975.

(19) CHEMAT, F.; ROMBAUT, N.; SICAIRE, A. G.; MEULLEMIESTRE, A.; FABIANO-TIXIER, A. S.; ABERT-VIAN, M. Ultrasound assisted extraction of food and natural products: mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 34, p. 540-560, 2017. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2016.06.035

(20) PRASEDYA, E. S.; FREDIANSYAH, A.; MARTYASARI, N. W. R.; ILHAMI, B. K.; ABIDIN, A. S.; PADMI, H.; FAHRURROZI; JUANSSILFERO, A. B.; WIDYASTUTI, S.; SUNARWIDHI, A. L. Effect of particle size on phytochemical composition and antioxidant properties of *Sargassum cristaefolium* ethanol extract. **Scientific Reports**, v. 11, p. 17876, 2021. DOI: 10.1038/s41598-021-95769-y

(21) BARDAWEEL, S. K.; BAKCHICHE, B.; ALSALAMAT, H. A.; REZZOUG, M.; GHERIB, A.; FLAMINI, G. Chemical composition, antioxidant, antimicrobial and antiproliferative activities of essential oil of *Mentha spicata* L. (Lamiaceae) from Algerian Saharan Atlas. **BMC Complementary and Alternative Medicine**, v. 18, n. 1, p. 201, 2018. DOI: 10.1186/s12906-018-2274-x

(22) MIMICA-DUKIĆ, N.; BOZIN, B.; SOKOVIĆ, M.; MIHAJLOVIĆ, B.; MATAVULJ, M. Antimicrobial and antioxidant activities of three Mentha species essential oils. **Planta Medica**, v. 69, n. 5, p. 413-419, 2003. DOI: 10.1055/s-2003-39704

(23) MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Applied statistics and probability for engineers**. 7. ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2018.

(24) SANTANA, F. C. de; OLIVEIRA TORRES, L. R. de; SHINAGAWA, F. B.; OLIVEIRA E SILVA, A. M. de; YOSHIME, L. T.; MELO, I. L. P. de; MARCELLINI, P. S.; MANCINI-FILHO, J. Optimization of the antioxidant polyphenolic compounds extraction of yellow passion fruit seeds (*Passiflora edulis* Sims) by response surface methodology. **Journal of Food Science and Technology**, v. 54, n. 11, p. 3552-3561, 2017. DOI: 10.1007/s13197-017-2813-3

(25) ANDRADE, A. C.; BORSOI, F. T.; SALIBA, A. S. M. C.; DE ALENCAR, S. M.; PASTORE, G. M.; ARRUDA, H. S. Optimization of ultrasonic-assisted extraction of phenolic compounds and antioxidant activity from araticum peel using response surface methodology. **Plants**, v. 13, n. 18, p. 2560, 2024. DOI: 10.3390/plants13182560.

AVALIAÇÃO DA ACEITAÇÃO SENSORIAL DE BEBIDA MISTA DE MARACUJÁ E PALMA FORRAGEIRA

SENSORY ACCEPTANCE EVALUATION OF MIXED BEVERAGE OF PASSION FRUIT AND FORAGE PALM

DOI: 10.65747/conali2025v3c39

Valdecir Viana Silva[1]; Nelsa Artur Binze[2]; Maria Gabrielly da Costa Peixoto[3]; Ticiane Coelho Abreu de Oliveira[4]; Rubens Carius de Castro[5]; Marina Cabral Rebouças[6]

[1]Estudante do Curso de Engelharia de Alimentos - IDR– UNILAB; E-mail: valdecirviana@aluno.unilab.edu.br
[2]Estudante do Curso de Engelharia de Alimentos - IDR– UNILAB.
[3]Estudante do Curso de Engelharia de Alimentos - IDR– UNILAB.
[4]Pesquisadora do Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará – NUTEC.
[5]Pesquisador do Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará – NUTEC.
[6]Docente do Instituto de Desenvolvimento Rural – IDR – UNILAB.

Resumo: As Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANCs), como a palma forrageira, representam uma alternativa promissora para a diversificação alimentar e o aproveitamento de espécies regionais adaptadas ao Semiárido. Este estudo contribui para o avanço na utilização desta PANC em formulações alimentares inovadoras, explorando novas possibilidades sensoriais e ampliando a diversidade de produtos no mercado, uma vez que a combinação da palma forrageira com o maracujá proporciona atributos sensoriais diferenciados, agregando benefícios nutricionais. Neste sentido, este estudo teve como objetivo avaliar a aceitação sensorial de suco misto de maracujá e palma forrageira. Foram elaboradas quatro formulações variando as proporções das polpas de maracujá e palma forrageira, com adição de água e açúcar. As amostras foram submetidas a análises microbiológicas e avaliação sensorial com 120 consumidores. Foram avaliados os atributos cor, aroma, sabor, textura e aceitação global por meio de escala hedônica, além da intenção de compra. As análises microbiológicas confirmaram a segurança das bebidas. Os atributos tiveram médias de aceitação variando entre 6,0 e 7,0 em todas as amostras. Nas características de sabor, textura e aceitação global não houve diferença estatística significativa entre as amostras. O estudo demonstrou que o suco misto de maracujá e palma forrageira possui boa aceitação sensorial entre os consumidores avaliados, com destaque para as formulações que combinam 10% de polpa de maracujá e palma forrageira (Amostra A) e 15% de maracujá com 10% de palma (Amostra B), que apresentaram as melhores médias de aceitação e intenção de compra.

Palavras–chave: análise sensorial; bebidas, PANC; palma forrageira; suco misto.

Abstract: Non-conventional edible plants, such as forage palm, represent a promising alternative for dietary diversification and the utilization of regional species adapted to the Semi-arid region. This study contributes to the advancement of the use of this PANC in innovative food formulations, exploring new sensory possibilities and expanding the

diversity of products in the market, since the combination of forage palm with passion fruit provides differentiated sensory attributes, adding nutritional benefits. In this context, this study aimed to evaluate the sensory acceptance of a mixed juice made from passion fruit and forage palm. Four formulations were prepared varying the proportions of passion fruit and forage palm pulps, with the addition of water and sugar. The samples were subjected to microbiological analyses and sensory evaluation with 120 consumers. The attributes color, aroma, flavor, texture, and overall acceptance were assessed using a hedonic scale, as well as purchase intention. The microbiological analyses confirmed the safety of the beverages. The attributes had acceptance averages ranging from 6.0 to 7.0 across all samples. For flavor, texture, and overall acceptance, there was no statistically significant difference between the samples. The study demonstrated that the mixed juice of passion fruit and forage palm has good sensory acceptance among the consumers evaluated, with emphasis on the formulations combining 10% passion fruit pulp and forage palm (Sample A) and 15% passion fruit with 10% forage palm (Sample B), which presented the best acceptance and purchase intention averages.

Keywords: sensory analysis; beverages; Unconventional Food Plants (UFP); forage palm; mixed juice.

INTRODUÇÃO

As Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANCs) representam uma alternativa promissora tanto para a alimentação quanto para o desenvolvimento econômico local, promovendo a valorização das culturas regionais (SANTOS; SOUSA; FERKO, 2024).

De modo geral, as PANCs se destacam por apresentarem um elevado valor nutricional, o que lhes confere um importante papel no enfrentamento de problemas estruturais como a fome e a desnutrição, sobretudo em contextos marcados pela insegurança alimentar. Ao serem incorporadas na alimentação cotidiana, essas espécies podem contribuir significativamente para o acesso a nutrientes essenciais, promovendo uma alimentação mais diversificada, saudável e sustentável. Essa perspectiva é reforçada por Sanches (2021), que ressalta o potencial dessas plantas como uma alternativa estratégica para minimizar deficiências nutricionais, sobretudo em populações vulneráveis.

Essas plantas demonstram grande potencial para enriquecer preparações culinárias com nutrientes essenciais e atributos sensoriais atrativos. Elas incluem espécies que não são produzidas ou comercializadas em larga escala e que, apesar disso, apresentam alto potencial alimentar e nutricional. Muitas dessas plantas ainda são pouco exploradas e conhecidas pela população, mesmo diante de evidências científicas que comprovam os benefícios de seu consumo (BRANCO; SILVA; BARBOSA, 2022).

Entre as diversas Plantas Alimentícias Não Convencionais, a palma forrageira (família Cactaceae; gênero Opuntia), originária do México, destaca-se por sua elevada adaptabilidade às condições edafoclimáticas do Semiárido brasileiro, favorecendo seu cultivo, principalmente nas regiões Nordeste e Sudeste do país. Além de seu uso tradicional como forragem, a espécie apresenta elevado potencial nutricional e funcional, sendo rica em vitaminas A, C e do complexo B, além de fibras alimentares e aminoácidos essenciais (SANTOS; SOUSA; FERKO, 2024). No contexto nordestino, a palma forrageira constitui uma das principais fontes alimentares para rebanhos bovinos e caprinos, contribuindo significativamente para a sustentabilidade da produção pecuária na região (PINHEIRO *et al.*, 2020).

A palma forrageira tem sido estudada por diversos pesquisadores (FERREIRA, 2020; ROSA, 2021; SILVA, 2022), o que tem resultado no desenvolvimento de novos produtos. No entanto, seu potencial na alimentação humana ainda é subestimado e pouco explorado (ANDRADE, 2023). Nos últimos anos, a gastronomia brasileira tem buscado formas de incorporar a palma forrageira em preparações alimentícias, como demonstram algumas publicações científicas e documentos de órgãos públicos (BRASIL, 2015; DEUS; PAIVA; SOUZA, 2017; KINUPP; LORENZI, 2014).

O maracujá (*Passiflora edulis Sims*) é amplamente cultivado no Brasil, sendo uma fruta muito apreciada pelos brasileiros, tanto in natura quanto em sucos e diversos produtos processados. Seu sabor marcante e aroma característico fazem dela uma excelente escolha para a elaboração de novos produtos, além de contribuírem para a aceitação sensorial, explorando aspectos como acidez, doçura e preferência do consumidor (FALEIRO, 2022).

No Brasil, o consumo de frutas e hortaliças é bem abaixo do recomendado, onde somente 22,5% da população das grandes cidades brasileiras consomem estes vegetais na quantidade adequada (VIGITEL, 2020). No mercado de bebidas não alcoólicas, os sucos são o terceiro produto em volume de vendas, ficando atrás dos refrigerantes e águas engarrafadas. Neste sentido, as bebidas à base de frutas e hortaliças possibilitam o aumento da ingestão destes vegetais por meio do consumo de produtos com características sensoriais apreciadas pelos consumidores (VIANA, 2018).

De acordo com a legislação brasileira, especificamente o Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009 (BRASIL, 2009), o suco misto é definido como um produto obtido pela mistura de frutas, combinação de frutas e vegetais ou mistura de sucos de frutas e vegetais. Esse tipo de bebida apresenta características sensoriais e químicas distintas, além de enriquecer o valor nutricional (SILVA *et al.*, 2025).

As características sensoriais dos alimentos são fatores essenciais na decisão do consumidor, refletindo diretamente nas tecnologias adotadas pela indústria. A análise sensorial, ao explorar os mecanismos humanos de percepção, transforma os órgãos dos sentidos em ferramentas precisas para a avaliação da qualidade alimentar, requerendo rigor nas condições de preparo, apresentação e seleção dos avaliadores para garantir resultados confiáveis (NOGUEIRA, 2021).

Dessa forma, este estudo contribui para o avanço na utilização de PANCs em formulações alimentares inovadoras, explorando novas possibilidades sensoriais e ampliando a diversidade de produtos no mercado. A análise sensorial desempenha um papel fundamental nesse contexto, pois auxilia na aceitação dessas plantas ao atender às expectativas dos consumidores que buscam alimentos diferenciados, saborosos, saudáveis e sustentáveis (ARAÚJO *et al.*, 2025). A combinação da palma forrageira com o maracujá proporciona atributos sensoriais diferenciados, agregando benefícios nutricionais. Neste sentido, este estudo teve como objetivo avaliar a aceitação sensorial de suco misto de maracujá e palma forrageira.

MATERIAL E MÉTODOS

Neste estudo, foram desenvolvidas quatro formulações de suco misto a partir da combinação das polpas de maracujá e palma forrageira, além de água mineral e açúcar, variando-se as proporções dos ingredientes. A polpa de maracujá, pasteurizada e congelada, foi adquirida em estabelecimento comercial local.

A polpa da palma forrageira foi obtida a partir da seleção de raquetes com peso entre 80 e 120 g e comprimento de 15 a 20 cm. Após a seleção, as raquetes foram submetidas à sanitização com solução de hipoclorito de sódio, descascadas manualmente,

cortadas em pequenos cubos e trituradas em liquidificador industrial. A mistura obtida foi então peneirada para remoção de resíduos sólidos e a polpa final acondicionada em embalagens plásticas de 200 g, mantidas sob congelamento até o uso.

Os ingredientes utilizados nas formulações dos sucos foram quantificados em proporções massa/massa (m/m), conforme descrito na Tabela 1.

Para o preparo das formulações, os ingredientes foram pesados conforme o delineamento proposto, homogeneizados em liquidificador industrial por 1 minuto e transferidos para garrafas de vidro de 500 mL. Em seguida, as amostras foram submetidas a tratamento térmico por imersão em banho-maria a 90 °C durante 1 minuto. Após o aquecimento, foram rapidamente resfriadas em água corrente e armazenadas sob refrigeração até a realização da análise sensorial.

Tabela 1 – Proporções dos ingredientes (m/m) utilizados nas formulações do suco misto de maracujá e palma forrageira.

Formulações	Palma (%)	Maracujá (%)	Açúcar (%)	Água (%)
A	10	10	10	70
B	10	15	10	65
C	15	10	10	65
D	15	15	10	60

Fonte: Autores, 2025

As quatro formulações foram submetidas à análise microbiológica para verificação da qualidade higiênico-sanitária. Foram determinados coliformes totais, coliformes termotolerantes (fecais), *Salmonella* spp. e *Staphylococcus aureus*, com base nos critérios estabelecidos pela legislação brasileira para bebidas não alcoólicas (BRASIL, 2022). As análises microbiológicas seguiram metodologias descritas pela APHA (2001).

A análise sensorial das formulações da bebida mista de maracujá e palma forrageira foi realizada com 120 provadores não treinados, consumidores de bebidas de frutas, no Laboratório de Análise Sensorial da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira - UNILAB. Foram avaliados os atributos de cor, aroma, sabor, textura e aceitação global, utilizando uma escala hedônica estruturada de nove pontos, variando de “desgostei muitíssimo” (1) a “gostei muitíssimo” (9). Aplicou-se também um teste de intenção de compra com escala de cinco pontos (5 = “certamente compraria”; 3 = “tenho dúvidas se compraria”; e 1 = “certamente não compraria”). Ainda foi solicitado aos participantes preencherem uma ficha com dados sociodemográficos e de consumo de palma forrageira, maracujá e suco de frutas.

As amostras foram servidas refrigeradas (8 – 10 °C), em copos descartáveis contendo 20 ml, codificados com números de três dígitos aleatórios, de forma monádica sequencial e apresentadas seguindo um delineamento balanceado e completo. Os resultados do teste de escala hedônica foram avaliados por meio da análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey para comparação de médias ($\alpha = 0,05$). A atitude de compra foi analisada por meio de gráfico de histogramas de frequências.

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira - UNILAB, que regulamenta pesquisas envolvendo seres humanos, com o número 77276223.6.0000.5576.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação microbiológica das amostras evidenciou que todas as formulações apresentaram ausência de coliformes totais, coliformes termotolerantes, *Salmonella* spp. e *Staphylococcus aureus*, demonstrando a eficácia do tratamento térmico aplicado e as boas práticas de fabricação adotadas durante o processo de elaboração.

Os resultados das análises microbiológicas estão de acordo com o que preconiza a legislação, Instrução Normativa nº 161, de 1º de julho de 2022, para este tipo de produto (BRASIL, 2022).

Ao analisar os dados sociodemográficos (Tabela 3) dos participantes deste estudo, observou-se que a maioria pertence ao sexo feminino (51,7%) e possui idade entre 18 e 25 anos (75,8%). Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Oliveira (2021), cuja pesquisa, embora não tenha abordado análise sensorial, foi conduzida em ambiente universitário e identificou predominância de mulheres (58,2%) e de jovens na faixa etária de 18 a 25 anos (75,8%) entre os participantes. Além disso, verificou-se que 79,2% dos entrevistados deste estudo estão matriculados em cursos de graduação.

Tabela 3 - Dados sociodemográficos e características de consumo dos participantes (n = 120).

Características	% de consumidores
Sexo	
Feminino	51,7%
Masculino	48,3%
Idade (anos)	
18 – 25	75,8%
26 – 35	20,8%
36 – 45	3,4%
Escolaridade	
Superior incompleto	79,2%
Superior completo	1,7%
Pós-Graduação	6,7%
Pós-graduação incompleta	4,2%
2° Grau completo	8,2%
Quanto gosta de suco de maracujá	
Muitíssimo	58,3%
Muito	32,5%
Moderadamente	7,5%
Não gosto e nem desgosto	1,7%
Frequência de consumo de suco de frutas	
Diariamente	7,5%
Semanalmente	46,7%
Quinzenalmente	20%
Mensalmente	10%
Raramente	15,8%

Fonte: Autores, 2025

No que diz respeito aos hábitos alimentares (Tabela 4), a maior parte dos participantes declarou nunca ter consumido alimentos elaborados com palma forrageira (95,8%). Alguns participantes relataram já ter experimentado pratos como palma forrageira refogada com carne bovina, salada contendo palma, além de sucos à base de palma com hortelã e com limão. Além disso, constatou-se que a maioria dos avaliadores afirmou muitíssimo de suco de maracujá (58,3%), com frequência de consumo de suco de maracujá semanal (46,7%) e quinzenal (20%).

Tabela 4 - Respostas dos participantes quanto ao consumo de alimentos contendo palma forrageira (n = 120).

Perguntas	**%**
Você já consumiu algum alimento com palma forrageira?	
Sim	4,2%
Não	95,8%
Se você já consumiu algum alimento com Palma forrageira indique abaixo qual foi este alimento? *	
Palma refogada, com carne bovina	-
Saladas	-
Suco de palma forrageira com hortelã	-
Suco de palma forrageira com limão	-

*O participante poderia citar a forma de consumo da palma.
Fonte: Autores, 2025

Evangelista (2025) também identificou um baixo consumo de alimentos elaborados com palma forrageira, sendo que 90,5% dos participantes relataram nunca ter consumido esse tipo de produto. Essa baixa familiaridade pode estar relacionada ao pouco aproveitamento da planta no Brasil. Conforme destaca Aires (2021), há pouco conhecimento sobre o uso da palma na alimentação humana entre a maior parte da população brasileira. Em contrapartida, em países como Estados Unidos, Japão e México, essa planta é considerada um alimento nobre, sendo frequentemente servida em restaurantes e hotéis.

A baixa familiaridade do público com alimentos à base de palma forrageira destaca a importância de estratégias para ampliar o consumo dessa PANC, reconhecendo seu potencial nutricional e sensorial.

Observa-se que as formulações das amostras de bebida mista de maracujá e palma forrageira alcançaram uma aceitação satisfatória (Tabela 5) com médias variando entre 6,0 (gostei ligeiramente) e 7,0 (gostei moderadamente) no teste de escala hedônica.

Tabela 5 – Médias dos resultados do teste de escala hedônica e de atitude de compra das amostras (n = 120).

	Cor	**Aroma**	**Sabor**	**Textura**	**Aceitação global**
Amostra A	$6,3^{ab}$	$6,9^{ab}$	$7,2^{a}$	$7,2^{a}$	$7,3^{a}$
Amostra B	$6,1^{abc}$	$6,9^{a}$	$7,2^{a}$	$7,2^{a}$	$7,3^{a}$
Amostra C	$5,8^{c}$	$6,5^{b}$	$7,0^{a}$	$7,0^{a}$	$7,1^{a}$
Amostra D	$5,9^{bc}$	$6,8^{ab}$	$7,0^{a}$	$7,0^{a}$	$7,2^{a}$

^{ab}Médias na mesma coluna, seguidas da mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).
Fonte: Autores, 2025

Dentre os atributos sensoriais avaliados, cor e aroma apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre as amostras, sendo que a Amostra C (15% de polpa de palma + 10% de polpa de maracujá) obteve os menores escores. No caso da cor, cabe destacar que a coloração das bebidas tinha um tom esverdeado, devido a coloração verde da polpa de palma, e mesmo assim não houve rejeição da cor das bebidas.

Os atributos sabor, textura e aceitação global apresentaram boa aceitação em todas as formulações, com médias em torno de 7,0 (gostei moderadamente). Nestes atributos não houve diferença significativa entre as amostras, o que indica que a combinação dos ingredientes foi adequada e que mesmo em maiores concentrações de

palma forrageira a aceitação das bebidas foi satisfatória. Resultados semelhantes foram encontrados por Batista (2010), que também observou boa aceitação sensorial em formulações de bebidas com goiaba e palma forrageira, sendo a Amostra B (15% de polpa de palma e 12 °Brix), que obteve a maior média de aceitação global. Já em relação à intenção de compra, a Amostra A (15% de polpa de palma e 11 °Brix) foi a mais bem avaliada. (SILVA; ARAÚJO; SOUZA, 2019), também observaram bons níveis de aceitação sensorial em néctares elaborados com caju e palma forrageira, especialmente nas formulações com maiores proporções de polpa de palma (25% e 50%), que se destacaram nos atributos de sabor e impressão global. Outros autores, como Galdino et a*l.* (2010), ainda que com metodologia distinta baseada na distribuição percentual de respostas hedônicas, também relataram boa aceitação sensorial de iogurtes enriquecidos com polpa de palma forrageira. Esses dados reforçam o potencial da palma forrageira como ingrediente funcional e sensorialmente aceito em diferentes tipos de alimentos.

O gráfico da intenção de compra dos consumidores em relação às diferentes formulações pode ser visualizado na Figura 1, onde são apresentadas as distribuições percentuais das respostas para cada amostra.

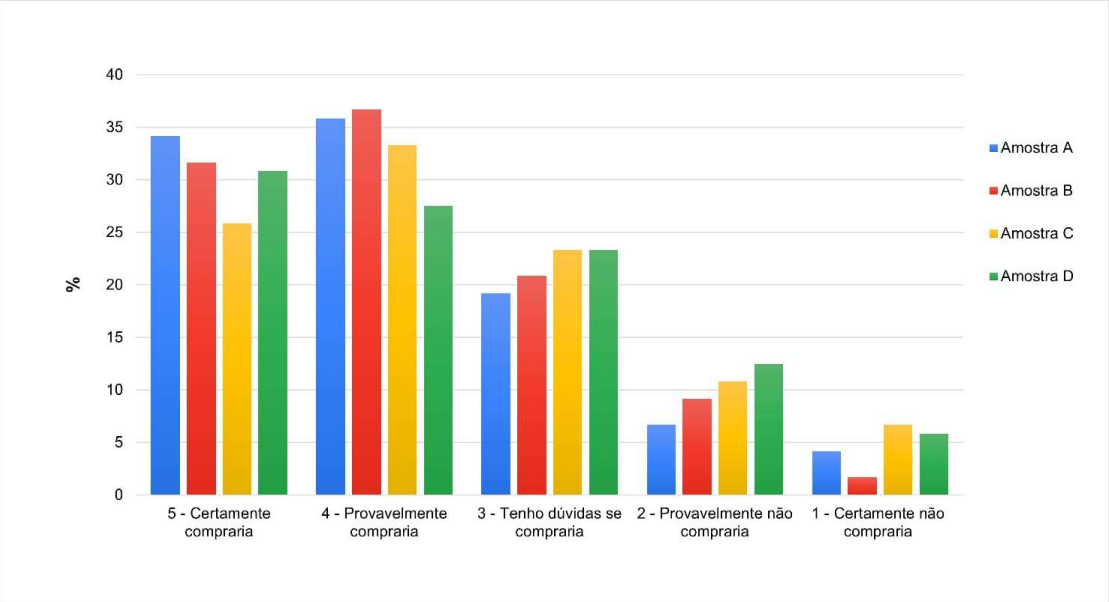


Figura 1 – Distribuição percentual das respostas de intenção de compra das amostras de suco misto de maracujá e palma forrageira (n = 120).
Fonte: Autores, 2025

A amostra A obteve 34% na categoria “certamente compraria” e 36% em “provavelmente compraria”, totalizando cerca de 70% de respostas positivas. A amostra B apresentou desempenho semelhante, com 32% e 37%, respetivamente, totalizando aproximadamente 69%. Em contrapartida, a amostra C apresentou os menores índices nas categorias “certamente compraria” (26%) e “provavelmente compraria” (33%), mas, nesta última, obteve um percentual superior ao da amostra D, que registrou apenas (27%.). Além disso, a amostra C teve a maior rejeição explícita, com 7% dos participantes indicando que “certamente não comprariam”. Já a amostra D teve um desempenho intermediário, com 60% de respostas positivas no total, mas apresentou o maior índice de rejeição geral (19%), somando as categorias “provavelmente não compraria” e “certamente não compraria.

Intenção de compra é a predisposição do consumidor em adquirir um produto no futuro, formada a partir das informações disponíveis e de julgamentos pessoais relacionados à experiência com o produto (NUNES *et al.*, 2018). Com base nos dados obtidos, observou-se que as amostras A e B apresentaram intenção de compra mais positiva do que as amostra C e D, sendo as mais promissoras em termos de intenção de compra.

Os resultados indicam que a incorporação da palma forrageira em sucos mistos pode agregar valor nutricional sem comprometer as características sensoriais, incentivando a diversificação do portfólio de bebidas naturais e o aproveitamento de plantas regionais adaptadas ao Semiárido brasileiro.

CONCLUSÕES

O estudo demonstrou que o suco misto de maracujá e palma forrageira possui boa aceitação sensorial entre os consumidores avaliados, com destaque para as formulações que combinam 10% de polpa de maracujá e palma forrageira (Amostra A) e 15% de maracujá com 10% de palma (Amostra B), que apresentaram as melhores médias de aceitação e intenção de compra.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará – Nutec pela parceria na realização das análises microbiológicas.

REFERÊNCIAS

AIRES, M. A. L. S. **Palma forrageira: da alimentação animal à alimentação humana, uma planta para a convivência com o semiárido brasileiro**. 2021. 29 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Geografia) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2021.

ANDRADE, B. B. **Alimentação humana: aporte nutricional da palma forrageira *(Opuntia cochenillifera (L.) P. Mill.)***. 2023. 14 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas) – Instituto Federal da Paraíba, Princesa Isabel, PB, 2023.

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods.** 4. ed. Washington: American Public Health Association, 2001. 676 p.

ARAÚJO, I. O.; MARTINS, T. M. L.; LEÃO, K. V.; NAVARRO, R. D. Análise sensorial de produtos alimentícios contendo plantas alimentícias não convencionais (PANC): uma revisão sistemática. **Fronteira: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 14, n. 1, p. 111–123, 2025.

BATISTA, R. D. S. R.; SILVA, R. A.; BRANDÃO, T. M.; VELOSO, T. R.; NEVES, J. A.; SANTOS, D. N. Bebida mista à base de goiaba (*Psidium guajava* L.) e palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*): desenvolvimento e aceitabilidade. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Caracas, v. 60, n. 3, p. 285–290, 2010.

BRANCO, C. S. V.; SILVA, E. B.; BARBOSA, M. I. M. J. Plantas alimentícias não convencionais (PANC) no contexto da gastronomia e da educação alimentar e nutricional. **Segurança Alimentar e Nutricional**, Campinas, v. 29, p. 1–15, 2022.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009. Dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 4 jun. 2009.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa nº 161, de 1º de julho de 2022. Estabelece as listas de padrões microbiológicos dos alimentos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Alimentos regionais brasileiros**. Brasília: Ministério da Saúde, 2015. 484.

BRASIL. Decreto nº 1.495, de 18 de maio de 1995. Dispõe sobre o regime de drawback. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 7127, 19 maio 1995.

DEUS, M. V. C.; PAIVA, L. G.; SOUSA, P. A. Processamento mínimo de brotos de palma (*Opuntia ficus-indica* Mill.) para o consumo humano. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA DIVERSIDADE DO SEMIÁRIDO, 2., 2017, Campina Grande. **Anais** [...]. Campina Grande: [s.n.], 2017.

EVANGELISTA, J. V. S. **Opinião do consumidor acerca do uso cladódio de palma forrageira como alimento**. 2021. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2021.

FALEIRO, F. G. Maracujá: fruta nativa do Brasil para o mundo. **Anuário Campo & Negócios Hortifruti**, v. 11, p. 79–81, 2022. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1152428. Acesso em: 11 jul. 2025.

FERREIRA, P. S. **Elaboração de snacks com cladódios de facheiro (*Pilosocereus pachycladus*) e palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*).** 2020. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.

GALDINO, P. O.; GALDINO, P. O.; FERNANDES, T. K. S.; OLIVEIRA, M. R. T.; ROCHA, A. P. T. Caracterização sensorial de iogurte enriquecido com polpa da palma forrageira (Napolea cochenillife). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró – RN, v. 5, n. 5, p. 53–60, 2010.

KINUPP, V. F.; LORENZI, H. **Plantas alimentícias não convencionais (PANC) no Brasil**. São Paulo: Instituto Plantarum, 2014. 768 p.

NOGUEIRA, M. B. Fundamentos e introdução à análise sensorial. In: **ANÁLISE SENSORIAL CLÁSSICA: FUNDAMENTOS E MÉTODOS.** [S.l.]: Mérida Publishers, 2021. p. 9–31. DOI: http://dx.doi.org/10.4322/mp.978-65-994457-0-5.c1.

NUNES, R. H.; FERREIRA, J. B.; FREITAS, A. S.; RAMOS, F. L. The effects of social media opinion leaders' recommendations on followers' intention to buy. **Review of Business Management**, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 57–73, 2018.

OLIVEIRA, L. S.; OLIVEIRA, E. N.; CAMPOS, M. P.; VASCONCELOS, M. I. O.; COSTA, M. S. A.; ALMEIDA, P. C. Qualidade de vida de estudantes de uma universidade pública do Ceará. **Revista de Psicologia**, v. 12, n. 1, p. 72–85, 2020.

PINHEIRO, F. F.; SILVA, F. A. F. D.; OLIVEIRA, V. S.; SOUZA, J. T. A.; PORCINO, M. M.; PODESTÁ, G. S. Nematoides associados à cultura da palma forrageira. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, v. 6, n. 9, p. 69576–69590, 2020.

ROSA, R. D. A. **Licor à base de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*) e gengibre (*Zingiber officinale*): análise da cor e sólidos solúveis totais**. 2021. 28 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Agroindústria) – Universidade Federal de Sergipe, Campus do Sertão, Nossa Senhora da Glória, 2021.

SANCHES, J. L. S.; MARTINS, J. P.; CONCEIÇÃO, A. F.; MATOSO, A. O.; LAPICCIRELLA, J. N. Segurança alimentar e as possibilidades de minimizar a desnutrição a partir das PANC. In: CONGRESSO ONLINE INTERNACIONAL DE SEMENTES CRIOULAS E AGROBIODIVERSIDADE, 2., 2021, Dourados. **Anais** [...]. Dourados: CONISCRA, 2021.

SANTOS, M. F. R.; SOUSA, R. C. P.; FERKO, G. P. S. Prospecção da palma forrageira para alimentação humana. **Revista Eletrônica Casa de Makunaima**, Boa Vista, v. 5, n. 2, p. 19–37, 2024.

SILVA, R. L. P. **Elaboração de empanado vegetariano pré-assado tipo nuggets à base de palma forrageira**. 2022. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Alimentos) – Instituto Federal do Sertão Pernambucano, Campus Salgueiro, Salgueiro, PE, 2022.

SILVA, V. V.; REBOUÇAS, M. C.; BINZE, N. A.; PEIXOTO, M. G. C.; LOURENÇO, A. R.; VIEIRA, J. M. M. Avaliação de características químicas de bebida mista de maracujá e palma forrageira. In: **Avanços e Pesquisas em Ciência dos Alimentos**. [S.l.]: AGRONFY, 2025. p. 852–858.

SILVA, C. M. R. S.; ARAÚJO, A. K. P.; SOUSA, Á. B. B. Produção e caracterização de néctar misto de caju e palma. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE HIGIENISTAS DE ALIMENTOS, 9.; CONGRESSO BRASILEIRO DE HIGIENISTAS DE ALIMENTOS, 15., 2019, Maceió. **Anais** [...]. Maceió: Consultoria em Higiene e Segurança Sanitária de Alimentos, 2019. p. 52-3743.

VIANA, F. L. E. Indústria de bebidas não alcoólicas. **Caderno Setorial ETENE**, v. 36, p. 1–14, 2018.

VIGITEL. **Vigitel Brasil 2006-2020: estado nutricional e consumo alimentar**. 2020. Disponível em: https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/publicacoes-svs/vigitel/vigitel-brasil-2006-2020-estado-nutricional-e-consumo-alimentar.pdf/view. Acesso em: 11 jun. 2023.

ACEITAÇÃO SENSORIAL E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DE MOLHO PARA SALADA À BASE DE TAMARINDO

SENSORY ACCEPTANCE AND CHEMICAL CHARACTERIZATION OF TAMARIND-BASED SALAD DRESSING

DOI: 10.65747/conali2025v3c40

Nelsa Artur Binze[1]; Jucilma Capitango Pedro Manuel[2]; Edna Calado Quilenda[3]; Rubens Carius de Castro[4]; Ticiane Coelho Abreu de Oliveira[5]; Marina Cabral Rebouças[6]

[1]Estudante do Curso de Engelharia de Alimentos - IDR – UNILAB; [2]Estudante do Curso de Engelharia de Alimentos - IDR – UNILAB; [3]Estudante do Curso de Engelharia de Alimentos - IDR – UNILAB; [4]Pesquisador do Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará – NUTEC; [5]Pesquisadora do Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará – NUTEC; [6]Docente do Instituto de Desenvolvimento Rural - IDR - UNILAB.
Contato: nbinze@gmail.com

Resumo: Apesar do Brasil ser um grande produtor de frutas, ainda existe várias espécies frutíferas nativas e exóticas que são sub-exploradas, como o tamarindo. Neste contexto, a utilização do tamarindo para o desenvolvimento de um molho a ser utilizado como tempero para saladas desponta como uma alternativa viável capaz de cumprir com as expectativas dos consumidores, além de constituir uma nova forma de utilização desta matéria-prima. Sendo assim, este trabalho tem o objetivo de avaliar a aceitação e realizar caracterização sensorial de molho para saladas à base de tamarindo. Foram avaliadas quatro formulações do produto utilizando-se os seguintes ingredientes: água, polpa de tamarindo, óleo de soja, açúcar, sal, alho em pó, cebola em pó, pimenta do reino, coentro em pó, orégano e goma xantana. A análise sensorial foi realizada por 101 consumidores que avaliaram os atributos de aparência, aroma, sabor, doçura, textura e aceitação global, utilizando escala hedônica estruturada de nove pontos. A atitude de compra foi analisada por meio da escala de intenção de compra de cinco pontos. Foi realizada uma caraterização química das formulações com relação ao teor de umidade, proteína, lipídios, cinzas, açúcares totais, redutores em glicose e sacarose, pH, acidez titulável e sólidos solúveis. Em todos os atributos sensoriais avaliados as médias ficaram em torno de 6,0 (gostei moderadamente), o que indica que todas as formulações alcançaram aceitação satisfatória nas características avaliadas. A variação na composição química apresentada pelas formulações relaciona-se as características nutricionais dos ingredientes utilizados, assim como das diferentes proporções utilizadas.

Palavras-chave: análise sensorial; desenvolvimento de novos produtos; emulsão; frutas tropicais; plantas alimentícias não convencionais.

Abstract: Although Brazil is a major fruit producer, several native and exotic fruit species, such as tamarind, remain underexploited. In this context, the use of tamarind to develop a salad dressing emerges as a viable alternative capable of meeting consumer expectations and constituting a new way to utilize this raw material. Therefore, this study aims to evaluate the acceptance and perform sensory characterization of a tamarind-based salad dressing. Four product formulations were evaluated using the following ingredients: water, tamarind pulp, soybean oil, sugar, salt, garlic powder, onion powder, black pepper, coriander powder, oregano, and xanthan gum. Sensory analysis was performed by 101 consumers who evaluated the attributes of appearance, aroma, flavor, sweetness, texture, and overall acceptance using a nine-point structured hedonic scale. Purchasing attitude was analyzed using a five-point purchase intention scale. The formulations were chemically characterized based on moisture content, protein, lipids, ash, total sugars, glucose and sucrose reducers, pH, titratable acidity, and soluble solids. For all sensory attributes evaluated, the averages were around 6.0 (moderately liked), indicating that all formulations achieved satisfactory acceptance regarding the characteristics evaluated. The variation in the chemical composition

presented by the formulations is related to the nutritional characteristics of the ingredients used, as well as the different proportions used.

Keywords: sensory analysis; new product development; emulsion; tropical fruits; unconventional food plants.

INTRODUÇÃO

O Brasil tem a terceira maior produção de frutas do mundo (1), no entanto, ainda existe um grande número de espécies frutíferas nativas e exóticas que são sub- exploradas, mas que possuem um grande potencial de utilização pela indústria, constituindo- se uma alternativa de renda a população local.

Para o desenvolvimento de um novo alimento é de fundamental importância avaliar, ainda nos estágios iniciais, quais características sensoriais os consumidores esperam encontrar, de forma a desenvolver um produto que se aproxime ao máximo das suas expectativas e necessidades. Outro aspecto importante é a otimização da formulação do produto, avaliando de que forma diferenças nas concentrações dos ingredientes podem levar a diferenças sensoriais que resultem em modificação da aceitação. Desta forma, consegue-se determinar a formulação que alcance o máximo de aceitabilidade sensorial possível. Neste sentido, atualmente, têm sido empregadas diferentes metodologias sensoriais para otimização de produtos que aliam a descrição sensorial do produto pelos consumidores aliados a uma avaliação hedônica, o que permite identificar diversos aspectos para a reformulação do produto (2).

Dentre estas frutas pode-se destacar o tamarindo, que é uma planta pertencente à família *Fabaceae*, subfamília *Caesalpinioideae*, sendo considerada uma leguminosa. Tem sua origem na África Tropical, no entanto foi introduzida e naturalizada em mais de 50 países, tendo como maiores produtores os países asiáticos com destaque para a Índia e Tailândia (3). É considerada uma planta ideal para cultivo em climas semiáridos, encontrando-se bastante disseminada pelo Nordeste brasileiro. Nesta região sua produção ocorre devido a plantios espontâneos, no entanto sua cultura possui grande importância para a agricultura familiar da região (4).

A composição do fruto pode variar entre 30 a 50% de polpa, 11 a 30% de casca e fibras e 33 a 40% de sementes (5). O sabor característico deste fruto é devido ao elevado teor de ácido tartárico, o qual não decresce durante a maturação, e a concentração de açúcares redutores, que dão a esta fruta ácida um sabor adocicado (3). Com relação à composição da polpa de tamarindo, está pode variar de acordo com diversos fatores, possuindo, em geral, açúcares redutores, pectina, proteínas, fibras e materiais celulósicos (6).

Apesar da infinidade de alimentos que podem ser produzidos a partir do tamarindo, a produção industrial destes produtos ainda é bastante limitada, com a utilização da fruta em maior escala ficando restrita a produção de polpa e sucos. No entanto, diversas pesquisas têm destacado o valor nutricional desta fruta e a presença de compostos com atividade funcional em sua polpa (3, 7, 8, 9). Estes fatores somados, fazem do tamarindo uma matéria-prima com grande

potencial a ser explorado na área de desenvolvimento de novos produtos. Desta forma, faz-se necessário a busca por novas formas de aproveitamento desta fruta no âmbito industrial como forma de aumentar a sua importância comercial, levando a um maior interesse de produção desta matéria-prima importante para a agricultura familiar do Nordeste brasileiro.

A importância que o consumo de quantidades adequadas de frutas e vegetais tem para a manutenção de um peso saudável e prevenção de diversas doenças já foi extensamente comprovada (10). No Brasil, segundo dados recentes de um levantamento realizado pelo Ministério da Saúde, apenas 21,4% da população das grandes cidades brasileiras consome a quantidade adequada de frutas e hortaliças (11).

Os molhos tem sido associados ao consumo de saladas com o objetivo de melhorar a sua aparência, aroma e sabor, contribuindo para o aumento do seu consumo. A demanda por este tipo de produto se dá tanto para o consumo doméstico, quanto para alimentação fora do lar, estando disponível para venda uma infinidade de sabores. Apesar desta variedade, conforme relatado por especialistas do setor, os consumidores estão buscando novos sabores (12). Neste sentido, as características sensoriais do tamarindo, principalmente o fato de ser uma fruta agridoce, o faz uma matéria-prima com potencial de utilização neste tipo de produto.

Neste contexto, a utilização do tamarindo para o desenvolvimento de um molho a ser utilizado como tempero para saladas desponta como uma alternativa viável capaz de cumprir com as expectativas dos consumidores, além de constituir uma nova forma de utilização desta matéria-prima. Sendo assim, este trabalho tem o objetivo de avaliar a aceitação e realizar caracterização sensorial de molho para saladas à base de tamarindo.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliadas quatro formulações de molho para salada à base de tamarindo, elaboradas utilizando-se os seguintes ingredientes: água, polpa de tamarindo, óleo de soja, açúcar, sal, alho em pó, cebola em pó, pimenta do reino, coentro em pó, orégano e goma xantana (Tabela 1). As formulações diferiram quanto a quantidade de água (46 a 52%) e açúcar (3 a 9%) adicionados. Todos os ingredientes utilizados foram de marcas comerciais obtidas no comércio em Fortaleza/CE.

Tabela 1 – Proporções dos ingredientes (m/m) utilizados nas formulações do molho de tamarindo.

Ingredientes	Formulação 1	Formulação 2	Formulação 3	Formulação 4
Água	52	50	48	46
Polpa	35	35	35	35
Óleo de soja	9	9	9	9
Açúcar	3	5	7	9
Sal	0,6	0,6	0,6	0,6
Alho em pó	0,02	0,02	0,02	0,02
Cebola em pó	0,03	0,03	0,03	0,03
Pimenta	0,15	0,15	0,15	0,15
Orégano	0,08	0,08	0,08	0,08

Coentro	0,02	0,02	0,02	0,02
Goma xantana	0,1	0,1	0,1	0,1

Fonte: Autores, 2025.

Para o preparo das formulações, a polpa de tamarindo, a água, o sal, açúcar e a goma xantana foram homogeneizados em liquidificador industrial durante um minuto. Na sequência, foi acrescentado o óleo e submetido novamente à homogeneização por um minuto. A essa mistura foram adicionados o orégano desidratado, a pimenta, o coentro em pó, o alho em pó e a cebola em pó, misturando-se no liquidificador na função pulsar por 15 segundos.

Todas as formulações foram envasadas em garrafa de vidro incolor com capacidade para 500 ml, previamente higienizadas, onde passaram por tratamento térmico em banho-maria a uma temperatura de 82°C durante 5 minutos. Em seguida, foram resfriadas em água corrente e armazenadas sob refrigeração (4ºC) até a realização dos testes sensoriais.

A análise sensorial foi realizada por 101 provadores não treinados, no Laboratório de Análise Sensorial da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira – UNILAB, em cabines individuais, com incidência de iluminação artificial do tipo luz do dia.

Foram avaliados os atributos de aparência, aroma, sabor, doçura, textura e aceitação global, utilizando escala hedônica estruturada de nove pontos (1 = "desgostei muitíssimo"; 9 = "gostei muitíssimo") (13). A atitude de compra foi analisada por meio da escala de intenção de compra de cinco pontos (5 = "certamente compraria"; 1 = "certamente não compraria"). Os provadores responderam ainda um questionário contendo dados sociodemográficos e de consumo de molhos para salada.

As amostras foram servidas em temperatura ambiente, em copos descartáveis codificados com números de três dígitos, contendo cerca de 20 mL de molho. A forma de apresentação das amostras foi monádica sequencial, seguindo um delineamento balanceado e completo. Junto as amostras foram servidas porções de salada de alface, sendo orientado que os participantes inicialmente avaliassem a aparência e o aroma da amostras e, em seguida, despejassem o molho sobre a salada para avaliação das demais características sensoriais.

Os dados da escala hedônica foram analisados por ANOVA e teste de Tukey ($p < 0,05$), utilizando o pacote estatístico do Excel versão 2013. A normalidade e homogeneidade dos dados foram verificadas previamente. Os dados do perfil sociodemográfico e as características de consumo foram analisados por meio de frequência relativa. Os resultados da atitude de compra foram analisados por meio de gráficos em histogramas de frequência.

Esta pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira - UNILAB, que regulamenta pesquisas envolvendo seres humanos, com o número 82026224.4.0000.5576.

Foi realizada uma caraterização química das formulações com relação ao teor de umidade, proteína, lipídios, cinzas, açúcares totais, redutores em glicose e sacarose, pH, acidez titulável e

sólidos solúveis. Todas as determinações seguiram metodologia descrita pelo Instituto Adolf Lutz (14).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados sociodemográficos (Tabela 2) mostra que a maioria dos participantes era do sexo feminino (52%), com idade entre 18 e 25 anos (74%) e com ensino superior incompleto (78%). Como os participantes da pesquisa pertencia a comunidade universitária da Unilab, os dados socio demográficos condizem com o perfil dos estudantes universitários brasileiros, sendo composto majoritariamente por mulheres jovens.

A maioria dos participantes (85%) disseram gostar muito ou muitíssimo de molhos para salada, onde a maioria disse consumir esse tipo de produto diariamente (8%) ou semanalmente (48%) (Tabela 3). Esses dados demonstram que os indivíduos que participaram da pesquisa são consumidores de molhos, o que é um fator necessário para uma avaliação sensorial mais adequada.

Tabela 2 – Dados sociodemográficos dos participantes (n = 101).

Características	% de consumidores
Sexo	
Feminino	52%
Masculino	48%
Idade (anos)	
18 – 25	74%
26 – 35	22%
36 – 45	4%
Escolaridade	
Superior incompleto	78%
Superior completo	2%
Pós-Graduação	8%
Pós-graduação incompleta	4%
2° Grau completo	8%

Fonte: Autores, 2025.

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos para o teste de escala hedônica, podendo-se observar que em todos os atributos sensoriais avaliados as médias ficaram em torno de 6,0 (gostei moderadamente), o que indica que todas as formulações alcançaram aceitação satisfatória nas características avaliadas.

Tabela 3 – Características de consumo de olhos para salada dos participantes (n = 101).

Características de consumo	% de consumidores
Quanto gosta de tamarindo	
Muitíssimo	55%
Muito	30%
Moderadamente	10%
Não gosto e nem desgosto	5%
Frequência de consumo de molhos para salada	
Diariamente	8%

Semanalmente	48%
Quinzenalmente	18%
Mensalmente	12%
Raramente	14%

Fonte: Autores, 2025.

Na avaliação da aparência as Formulações 3 e 4 foram as que obtiveram maiores médias e diferiram significativamente da Formulação 1, no entanto, cabe ressaltar que todas as amostras alcançaram aceitação satisfatória. A aparência é um importante critério sensorial para esse tipo de produto que é tradicionalmente embalado em embalagens transparentes.

O aroma da Formulação 4 diferiu apenas da Formulação 1, apesar de todos elas terem alcançado boa aceitação neste atributo. É importante destacar que o aroma é um importante componente do sabor dos alimentos e que a aceitabilidade neste atributo contribui para a aceitação do sabor. Apesar disso, as médias de aceitação do sabor das amostras não diferiu significativamente, o que indica que todas as formulação alcaçaram a mesma aceitação positiva desse atributo sensorial.

Apesar das amostras terem diferentes concentrações de açúcar e, consequentemente, doçuras distintas, todas as formulações alcançaram aceitação neste atributo, com pouca variação entre as amostras. Apenas houve diferença significativa entre as formulações 1 e 3, com a última alcançando uma média ligeiramente maior.

Tabela 4 - Médias dos resultados do teste de escala hedônica e de atitude de compra das amostras (n = 101).

	Aparência	**Aroma**	**Sabor**	**Doçura**	**Textura**	**Impressão Global**
Formulação 1	6,3^{b}	6,4^{b}	6,1^{a}	5,9^{b}	6,3^{b}	6,1^{a}
Formulação 2	6,6^{ab}	6,7^{ab}	6,5^{a}	6,1^{ab}	6,6^{a}	6,4^{a}
Formulação 3	6,9^{a}	6,6^{ab}	6,6^{a}	6,4^{a}	6,8^{a}	6,5^{a}
Formulação 4	6,8^{a}	6,8^{a}	6,5^{a}	6,4^{ab}	6,7^{a}	6,4^{a}

^{ab}Médias na mesma coluna, seguidas da mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Fonte: Autores, 2025

Com relação a textura, as formulações 2, 3 e 4 diferiram significativamente da formulação 1. Possivelmente, devido a formulação 1 ter um maior teor de água e, consequentemente, um menor teor de sólidos, a textura do molho se apresentou mais fluida do que as demais amostras. Isso demonstra que, possivelmente, os avaliadores gostaram mais de uma textura mais cremosa para o molho de salada à base de tamarindo.

Mesmo com as diferenças significativas obtidas em alguns atributos sensoriais, na avaliação do produto como um todo (impressão global) elas não foram preponderantes, não havendo diferença de aceitação global entre as amostras.

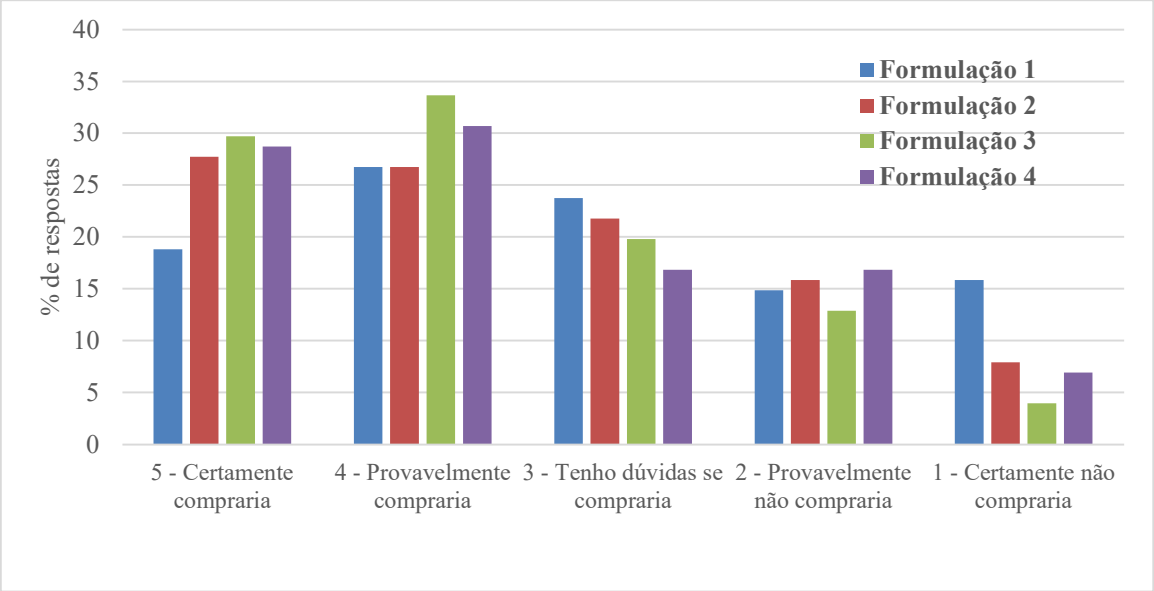
Costa (15) ao avaliar a aceitação de molhos para salada a base de iogurte adicionados de diferentes concentrações de óleo essencial de manjericão obteve médias variando entre 6,0 (gostei

ligeiramente) e 7,0 (gostei moderadamente) nos atributos de aparência, odor, textura, sabor e aceitação global, sem diferença significativa entre as amostras.

Gallo *et al.* (16), obtiveram médias de aceitação da cor, aroma, sabor e aceitação global variando entre 6,0 (gostei ligeiramente) e 7,0 (gostei moderadamente) em molhos comerciais do tipo italiano e mostarda e mel tratados por radiação gama.

Considerando-se a região da escala de atitude de compra correspondente a intenção de compra positiva (valores 5 e 4) as formulações 1, 2, 3 e 4 alcançaram os seguintes percentuais, respectivamente, 45,5%, 54,5%, 63,3% e 59,4% (Figura 1).

Figura 1 – Distribuição percentual das respostas de intenção de compra das formulações de molho de salada à base de tamarindo (n = 101).



Fonte: Autores, 2025.

Pode-se observar que a maioria dos consumidores tiveram uma intenção de compra positiva em relação a todas as formulações, no entanto a formulação 1 (45,%) foi a que alcançou o menor percentual de respostas positivas e a formulação 3 (63,3%) a que obteve o maior.

Os resultados obtidos na avaliação sensorial das diferentes formulações de molho à base de tamarindo demonstra que todos alcançaram aceitação sensorial nos atributos sensoriais avaliados e resultados compatíveis ao obtidos em outros tipo de molho para salada, inclusive de marcas comerciais. Estes resultados corrobaram a viabilidade de comercialização desse produto e a possibilidade de utilização do tamarindo, uma PANC, na elaboração de produtos inovadores e com aceitabilidade por parte dos consumidores.

A Tabela 5 apresenta os resultados das análises químicas realizadas nas formulações. O teor de umidade das formulações variou entre 76,9 e 81,3%, com a formulação 1 apresentando o maior teor de água e formulação 4 o menor. Esta variação condiz com os teores de água adicionados a estas formulações, onde a formulação 1 foi adicionada de 52% de água, enquanto a formulação 4 de 46%. A variação no teor de umidade apresentado pelas amostras está relacionado as diferentes quantidades de água adicionada às formulações, além da umidade proveniente dos demais

ingredientes, principalmente da polpa de tamarindo.

O tamarindo não é uma fruta fonte de lipídios, desta forma o teor de lipídios encontrado no molho é proveniente do óleo de soja adicionado às formulações.

A variação nos teores de açúcares totais (3,7 – 8,2%), redutores em glicose (2,5 – 5,3%) e sacarose (1,2 – 2,9%) e de sólidos solúveis (7,5 – 14,1ºBrix) está relacionada aos teores de polpa de tamarindo e açúcar adicionados. Em todas estas características a formulação 1 apresentou os menores teores, enquanto a formulação 4 os maiores.

Os ingredientes utilizados nas formulações de molho não são fontes consideráveis de proteínas, por isso os teores de proteínas encontrados foram baixo, em torno de 0,7%.

Tabela 5 – Resultados das análises químicas realizadas nas 4 formulações.

Parâmetro	Formulação 1	Formulação 2	Formulação 3	Formulação 4
Umidade (%)	81,3	78,6	78,0	76,9
Cinzas (%)	0,5	0,6	0,9	0,6
Lipídios (%)	10,2	13,4	10,9	9,9
Proteína (%)	0,7	0,7	0,7	0,7
Açúcares redutores em glicose (%)	2,5	2,9	3,4	5,3
Açúcares redutores em sacarose (%)	1,2	2,4	2,8	2,9
Açúcares totais (%)	3,7	5,4	6,1	8,2
Sólidos solúveis (ºBrix)	7,5	9,4	11,8	14,1
Acidez titulável (expressa em % de ácido tartárico)	2,5	2,1	2,1	2,0
pH	3,3	3,3	3,2	3,2

Fonte: Autores, 2025.

A Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO) (17) traz a composição nutricional em 100 gramas de tamarindo cru: 276kcal, 22% de umidade, 72,5% de carboidratos, 6,4% de fibra alimentar, 3,2% de proteínas, 0,5% de lipidios, 1,9% de cinzas. Conforme pode ser avaliado, a fruta possui um elevado valor energético, alto conteúdo de carboidratos, sendo fonte de fibras.

Estudo realizado por Hamacek (18) encontrou um teor de umidade de 35,29%, valor energético de 270 kcal, 50,07% de carboidratos, 6,09% de proteínas, 5,04% de lipídios, 4,13% de fibras e 2,37% de cinzas. Em geral, a concentração dos principais constituintes da polpa é bastante variável, o teor de açúcares redutores pode variar entre 25 e 45%, o ácido tartárico de 8 a 18%, a pectina de 2 a 3,5% e a proteína de 2 a 3% (6).

O tamarindo é uma fruta ácida, cuja acidez é decorrente da quantidade de ácido tartárico presente. Com relação ao teor de acidez, um estudo realizado por Watanabe (19) encontrou uma acidez total de 2,6% (percentual de ácido tartárico) e pH de 2,37 em polpa de tamarindo de uma marca comercializada no Brasil. No entanto, estudos realizados com polpa de tamarindo provenientes do Cerrado de Minas Gerais e da Paraíba encontraram valores bem maiores de acidez

chegando a, respectivamente, 18,52% (18) e 17,2% (20). No molho, a acidez titulável variou entre 2,5% e 2,0%, com formulação 1 apresentou o maior teor e a formulação 4 o menor. O teor de pH dos molhos (3,2 - 3,3) está relacionado, principalmente, a polpa de tamarindo adicionada às formulações.

Perrechil et al. (21), ao avaliarem a composição química de molhos comerciais do tipo italiano encontraram valores de lipídios variando entre 7,94 e 34,50%, carboidratos entre 3,77 e 14,40%, umidade entre 47,12 e 74,00%, cinzas de 3,51 e 4,65%, 0% de proteinas e pH entre 3,56 e 3,90. Estes valores estão muito próximos aos obtidos nas formulações de molho de tamarindo, o que demonstra que o produto densenvolvido possui características químicas semelhantes aos produtos comerciais.

CONCLUSÕES

A pesquisa demonstrou ser possível utilizar o tamarindo como matéria-prima para a elaboração de molhos para saladas com aceitação satisfatória em todas as características sensoriais avaliadas. Apesar de possuírem diferentes concentrações de água e açúcar, de um modo geral, as formulações testados não apresentaram diferença significativa na aceitação.

Todas as amostras alcançaram intenção de compra positiva, com a formulação 3 tendo alcançado o maior percentual de atitude de compra positiva. Isso sugere que ingredientes pouco explorados, como o tamarindo, podem ser bem aceitos quando equilibrados com outros componentes que preservam familiaridade sensorial.

A variação na composição química apresentada pelas formulações relaciona-se as características nutricionais dos ingredientes utilizados, assim como das diferentes proporções utilizadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará – Nutec pela parceria na realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS

1. ABRAFRUTAS. Associação Brasileira de Produtores Exportadores de Frutas e Derivados. **Quais são as frutas mais produzidas no Brasil?** 2023. Disponível em: https://abrafrutas.org/2023/04/quais-sao-as-frutas-mais-produzidas-no-brasil/#:~:text=O%20Brasil%2C%20segundo%20estudo%20da,e%20%C3%8Dndia%20est%C3%A3o%20%C3%A0%20frente. Acesso em: 29 abr. 2024.
2. BRUZZONE, F.; VIDAL, L.; ANTÚNEZ, L.; GIMÉNEZ, A.; DELIZA, R.; ARES, G. Comparison of intensity scales and CATA questions in new product development: Sensory characterisation and directions for product reformulation of milk desserts. **Food Quality and Preference**, v. 44, p. 183–193, 2015.
3. DE CALUWÉ, E.; HALAMOVÁ, K.; VAN DAMME, P. Tamarindus indica L. – A review of traditional uses, phytochemistry and pharmacology. **Afrika Focus**, v. 23, n. 1, p. 53-83, 2010.

4. FERREIRA, R. M. A.; AROUCHA, E. M. M.; GÓIS, V. A.; SILVA, D. K.; SOUSA, C. M. G. Qualidade sensorial de geleia mista de melancia e tamarindo. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 2, p. 202-206, 2011.
5. QUEIROZ, J. M. O. **Propagação do tamarindeiro (*Tamarindus indica* L.).** 2010. 68f.
6. MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Parameter optimization for spray drying of tamarind pulp using response surface methodology. **Powder Technology**, v. 279, p. 179–184, 2015.
7. ALMEIDA, M. M. B.; SOUSA, P. H. M.; ARRIAGA, A. M. C.; PRADO, G. M.; MAGALHÃES, C. E. C.; MAIA, G. A.; LEMOS, T. L. G. Bioactive Compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil. **Food Research International**, v. 44, p. 2155–2159, 2011.
8. SILVA, L. M. R.; FIGUEIREDO, E. A. T.; RICARDO, N. M. P. S.; VIEIRA, I. G. P.; FIGUEIREDO, R. W.; BRASIL, I. M.; GOMES, C. L. Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 143, p. 398–404, 2014.
9. PAZ, M.; GÚLLON, P.; BARROSO, F.; CARVALHO, A. P.; DOMINGUES, V. F.; GOMES, A. M.; BECKER, H.; LONGHINOTTI, E.; DELERUE-MATOS, C. Brazilian fruit pulps as functional foods and additives: Evaluation of bioactive compounds. **Food Chemistry**, v. 172, p. 462–468, 2015.
10. BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Guia alimentar para a população brasileira.** Brasília: Ministério da Saúde, 2014.
11. BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Vigitel Brasil 2023**: vigilância de fatores de risco e proteção para doenças crônicas por inquérito telefônico: estimativas sobre frequência e distribuição sociodemográfica de fatores de risco e proteção para doenças crônicas nas capitais dos 26 estados brasileiros e no Distrito Federal em 2023. Brasília: Ministério da Saúde, 2023.
12. ABRAS. Associação Brasileira de Supermercados. **Molhos ganham mercado.** 2012. Disponível em: <https://www.abras.com.br/clipping/geral/30109/molhos-ganham-mercado>. Acesso em: 24 abri. 2024.
13. STONE, H.; SIDEL, J. L. **Sensory evaluation practices.** 3. ed. New York: Academic, 2004; 338p.
14. IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos.** 4.ed. São Paulo, 2004. 1032p.
15. COSTA, E. S. **Desenvolvimento de molho de iogurte para salada com óleo essencial de manjericão (Ocimum basilicum L.).** 2015. 22 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bracharelado em Engenharia de Alimentos) - Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de Mato Grosso, Cuiabá - Bela Vista, 2015.
16. GALLO, J. M. A. S.; SANTOS, E. M.; GONÇALVES, M. L. L.; SOBRAL A. P. T.; RAIMUNDO, D.; NASCIMENTO, A. R.; BUSSADORI, S. K.; AZEDO, M. R.; SABATO, S. F. Avaliação sensorial e pH de molhos para saladas tratados por radiação gama. **Research, Society and Development**, v. 12, n.2, p. 1 - 8, 2023
17. TACO. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos.** 4 ed. Campinas: NEPA, 2011. 161 p.
18. HAMACEK, F. R. **Caracterização física, química e valor nutricional De espécies frutíferas do cerrado de minas gerais.** 2012. 66f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Nutrição) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.
19. WATANABE, A. P. **Microfiltração de suco de tamarindo (*tamarindus indica* l.) Por membrana polimérica: Efeito do tratamento enzimático, da velocidade Tangencial e da pressão transmembrana.** 2007. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.
20. GURJÃO, K. C. O. **Desenvolvimento, armazenamento e secagem de tamarindo (*Tamarindus indica* L.).** 2006. 145f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia Branca, 2006.
21. PERRECHIL, F. A.; SANTANA, R. C.; FASOLIN, L. H.; SILVA, C. A. S.; CUNHA, R. L. Rheological and structural evaluations of commercial italian salad dressings. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 2, p.477-482, 2010.

CONALI 2025

Congresso Nacional de Ciência, Tecnologia e Engenharia de Alimentos 2025

Realização:

TROPPO Editora e Eventos

Apoios e Patrocínios:

FACEPE
Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco

FNDE

fermentech
GENTE QUE AMA QUEIJO

Cap-Lab
Tudo para o seu laboratório

Vivaré
. insumos . para . alimentos .

Bom Leite

tia nanda
amor traduzido em sabores

Isis

BETÂNIA

YoBem

Queyo's
SABOR E ESTILO INOVADOR

RANCHO ALEGRE
PRODUTOS AGROPECUÁRIOS

SistemaOCB
CNCOOP | OCB | SESCOOP

ELETRONICA MICHELLE
MANUTENÇÃO ODONTO E HOSPITALAR

Organização:

Universidade Federal do Agreste de Pernambuco