

Carlos Alberto Martins Cordeiro
Norma Suely Evangelista-Barreto
Alex Guimarães Sanches
(Orgs.)



VOL. 5

AVANÇOS, INOVAÇÕES E SABERES EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS



científica digital



CIENTÍFICA DIGITAL EDITORIAL LTDA

Barueri - São Paulo - Brasil
www.cientificadigital.org - contato@cientificadigital.org

Diagramação e Arte	Edição © 2025 Científica Digital
Diego Santos	Texto © 2025 Os Autores
Diogo Lima	1ª Edição - 2025
Imagens da Capa	Acesso Livre - Open Access
Adobe Stock - 2025	

© COPYRIGHT - TODOS OS DIREITOS RESERVADOS. A editora detém os direitos autorais sobre a edição e o projeto gráfico, enquanto os autores mantêm os direitos autorais de seus respectivos textos. Esta obra está licenciada sob a Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional, permitindo o download e compartilhamento integral ou parcial, desde que a fonte seja devidamente citada e os créditos atribuídos aos autores. É obrigatório que a obra permaneça em formato de Acesso Livre (Open Access), sem qualquer alteração. A catalogação em plataformas de acesso restrito ou com fins comerciais é estritamente proibida.



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A946 Avanços, inovações e saberes em ciência e tecnologia de alimentos: volume 5 / Organização de Carlos Alberto Martins Cordeiro, Norma Suely Evangelista-Barreto, Alex Guimarães Sanches. – Barueri-SP: Científica Digital, 2025.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui Bibliografia
ISBN 978-65-83998-17-0
DOI 10.37885/978-65-83998-17-0

1. Tecnologia de alimentos. I. Cordeiro, Carlos Alberto Martins (Organizador). II. Evangelista-Barreto, Norma Suely (Organizadora). III. Sanches, Alex Guimarães (Organizador). III. Título.

CDD 613.286

Elaborado por Janaína Ramos – CRB-8/9166

Índice para catálogo sistemático:

I. Tecnologia de alimentos

E-BOOK

ACESSO LIVRE ON LINE - IMPRESSÃO PROIBIDA

2025

Carlos Alberto Martins Cordeiro
Norma Suely Evangelista-Barreto
Alex Guimarães Sanches
(Orgs.)

Avanços, Inovações e Saberes em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Volume 5

1ª EDIÇÃO



científica digital

2025 - BARUERI - SP

CONSELHO EDITORIAL

Prof. Dr. André Cutrim Carvalho
Prof. Dr. Antônio Marcos Mota Miranda
Prof^a. Ma. Auristela Correa Castro
Prof. Dr. Carlos Alberto Martins Cordeiro
Prof. Dr. Carlos Alexandre Oelke
Prof^a. Dra. Caroline Nóbrega de Almeida
Prof^a. Dra. Clara Mockdece Neves
Prof^a. Dra. Claudia Maria Rinhel-Silva
Prof^a. Dra. Clecia Simone Gonçalves Rosa Pacheco
Prof. Dr. Cristiano Marins
Prof^a. Dra. Cristina Berger Fadel
Prof. Dr. Daniel Luciano Gevehr
Prof. Dr. Diogo da Silva Cardoso
Prof. Dr. Ernane Rosa Martins
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes
Prof. Dr. Fabricio Gomes Gonçalves
Prof^a. Dra. Fernanda Rezende
Prof. Dr. Flávio Aparecido de Almeida
Prof^a. Dra. Francine Náthalie Ferraresi Queluz
Prof^a. Dra. Geuciane Felipe Guerim Fernandes
Prof. Dr. Humberto Costa

Prof. Dr. Joachin Melo Azevedo Neto
Prof. Dr. Jónata Ferreira de Moura
Prof. Dr. José Aderval Aragão
Prof. Me. Julianno Pizzano Ayoub
Prof. Dr. Leonardo Augusto Couto Finelli
Prof. Dr. Luiz Gonzaga Lapa Junior
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva
Prof^a. Dra. Maria Cristina Zago
Prof^a. Dra. Maria Otília Zangão
Prof. Dr. Mário Henrique Gomes
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes
Prof. Dr. Nelson J. Almeida
Prof. Dr. Pedro Afonso Cortez
Prof. Dr. Reinaldo Pacheco dos Santos
Prof. Dr. Rogério de Melo Grillo
Prof^a. Dra. Rosenery Pimentel Nascimento
Prof. Dr. Rossano Sartori Dal Molin
Prof. Me. Silvio Almeida Junior
Prof^a. Dra. Thays Zigante Furlan Ribeiro
Prof. Dr. Wescley Viana Evangelista
Prof. Dr. Willian Carboni Viana
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme

Acesse a lista completa dos Membros do Conselho Editorial em www.editoracientifica.com.br/conselho

Parecer e revisão por pares

Os textos que compõem esta obra passaram por avaliação do Conselho Editorial e revisão por pares externos (*Peer Review*), recebendo a devida recomendação para publicação.

Nota: Esta obra é fruto de um processo colaborativo, configurando-se como uma coletânea na qual os direitos autorais permanecem resguardados para os respectivos autores. Alguns capítulos podem ter origem em trabalhos anteriormente apresentados em eventos acadêmicos; no entanto, os autores foram orientados a adotar o devido rigor na prevenção do autoplágio. A responsabilidade pelo conteúdo de cada capítulo, assim como pela originalidade e integridade das informações publicadas, é inteiramente dos respectivos autores e autoras. O conteúdo da obra não reflete, necessariamente, a opinião da editora, dos organizadores ou dos membros do conselho editorial.

APRESENTAÇÃO

Esta obra é fruto de um esforço colaborativo que reuniu professores, estudantes e pesquisadores cujo envolvimento enriqueceu significativamente as discussões neste espaço formativo. Além disso, resulta de iniciativas interinstitucionais e ações voltadas ao incentivo à pesquisa, congregando especialistas de diversas áreas do conhecimento, vinculados a Instituições de Educação Superior, públicas e privadas, em âmbito nacional e internacional.

Seu principal objetivo é fortalecer a integração entre instituições, tanto no Brasil quanto no exterior, por meio de redes de pesquisa comprometidas com a formação continuada de profissionais da educação. Para isso, busca-se a produção e a ampla disseminação do conhecimento em distintas áreas do saber.

Expressamos nossa profunda gratidão aos autores pelo empenho, comprometimento e dedicação na concepção e finalização desta obra. Esperamos que ela se consolide como um recurso didático-pedagógico valioso, atendendo às necessidades de estudantes, docentes de todos os níveis de ensino e demais interessados na temática.

Carlos Alberto Martins Cordeiro
Norma Suely Evangelista-Barreto
Alex Guimarães Sanches

SUMÁRIO

Capítulo 01

IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS DO PROGRAMA DE AQUISIÇÃO DE ALIMENTOS: DO COMBATE À FOME À VALORIZAÇÃO DA AGRICULTURA FAMILIAR EM CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ, BRASIL

Barbara de Oliveira Silva; Paulo Cesar dos Santos; Almy Junior Cordeiro De Carvalho; Gleiciane Pimentel; Bruna Rangel Neves; Vinicius de Freitas Manhães; Rômulo André Beltrame; Pedro Campeão

doi 10.37885/251020372 11

Capítulo 02

ROTULAGEM NUTRICIONAL NO BRASIL: PERCEPÇÃO DO CONSUMIDOR E CONFORMIDADE DOS PRODUTOS NO PERÍODO DE IMPLEMENTAÇÃO

Bianca Pazinato; Carmen Torres Guedes; Ana Clara Souza; Tamires dos Santos de Lima; Gabriela Secato Rodriguez; Nataliene de Jesus Camara; Nuria Armantina Silva del Aguila; Caroline Wolf Trentini Schipfer; Ellen Cristina de Moraes Costa; Monica Regina da Silva Scapim

doi 10.37885/251020445 24

Capítulo 03

POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN FOOD: PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES, CARCINOGENIC MECHANISMS, AND REGULATORY FRAMEWORKS

Ana Paula Zapelini de Melo; Rodrigo Barcellos Hoff; Luciano Molognoni; Thais de Oliveira; Heitor Daguer; Pedro Luiz Manique Barreto

doi 10.37885/251020477 43

Capítulo 04

STRATEGIES TO REDUCE POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN FOOD: INDUSTRIAL AND CULINARY APPROACHES

Ana Paula Zapelini de Melo; Rodrigo Barcellos Hoff; Luciano Molognoni; Thais de Oliveira; Heitor Daguer; Pedro Luiz Manique Barreto

doi 10.37885/251020506 60

Capítulo 05**BENEFITS OF BIOACTIVE COMPOUNDS AND BIOGENIC AMINES IN GRAPE JUICES: IMPACTS ON HEALTH AND WELL-BEING**

Francisco José Domingues Neto; Gadiel Zilto Azevedo; Aline Nunes; Tamiris Rodrigues dos Santos; Laura Varela; João Vitor Maduro de Abreu; Larissa Ramos Vaz; Heitor Savegnago; Giuseppina Pace Pereira Lima

 10.37885/251020509 81

Capítulo 06**ELABORAÇÃO DE SORBET DE ABACAXI COM ADIÇÃO DE KOMBUCHA OBTIDA A PARTIR DE CHÁ VERDE (*CAMELLIA SINENSIS*)**

Daniel Barbosa dos Santos; Maria Geovana de Jesus Lopes; Mariana Schievano Danelon

 10.37885/251120543 96

Capítulo 07**MODELAGEM MATEMÁTICA DA CINÉTICA DE SECAGEM E AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS DAS FOLHAS DE *MOMORDICA CHARANTIA***

Maria Clara da Silva Oliveira; Higor Henrique Farias; Andrew Diego Medeiros Macedo; Alanna Silva de Souza Anastácio; Ana Maria de Souza Araújo; Emanuele Cardoso Dias; Ivna Ellen de Lucena Paulino Bandeira; Bianca Caroline Batista de Carvalho; Janine Patrícia Melo Oliveira; Ana Regina Nascimento Campos

 10.37885/251120559 118

Capítulo 08**SECAGEM DE FOLHAS DE *EUGENIA UNIFLORA*: MODELAGEM MATEMÁTICA E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA**

Bianca Caroline Batista de Carvalho; Alanna Silva de Souza Anastácio; Maria Clara da Silva Oliveira; Kalline Silva de Souza Anastácio; Ivna Ellen de Lucena Paulino Bandeira; Lincoln Emmanuel Lobato dos Santos Alves; Higor Henrique Farias; Andrew Diego Medeiros Macedo; Ana Maria de Souza Araújo; Ana Regina Nascimento Campos

 10.37885/251120560 135

Capítulo 09**SUPLEMENTAÇÃO NUTRICIONAL COM MORINGA: INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE**

Alanna Silva de Souza Anastácio; Maria Clara da Silva Oliveira; Kalline Silva de Souza Anastácio; Ana Maria de Souza Araújo; Emanuele Cardoso Dias; Ivna Ellen de Lucena Paulino Bandeira; Bianca Caroline Batista de Carvalho; Janine Patrícia de Melo; Ian Lopes de Oliveira Fontes Mendes; Ana Regina Nascimento Campos

 10.37885/251120564 151

Capítulo 10

VIABILIDADE DA EXTRAÇÃO DE DNA EM AMOSTRAS DE CAFÉ TORRADO COM DEGRADAÇÃO GENÔMICA

Andressa Moreira de Souza; Otniel Freitas Silva; Bruna Valentim da Silva; Cleverson Busso; Ricardo Schneider; Alessandra de Souza Teixeira; Gustavo Pontes; Gustavo Nicolodelli

doi 10.37885/251120584 173

Capítulo 11

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO SENSORIAL DE NUGGETS DE CAMARÃO TIGRE (*PENAEUS MONODON*) COM DIFERENTES PROPORÇÕES DE MACAXEIRA E BATATA

Kevin Lisboa Rodrigues; Ana Claudia da Silva; Adão Melo de Sousa; Jhoab Fernandes Ramos; Aionã Stephanny Almeida Pinheiro; Leonnan Carlos Carvalho de Oliveira; Francisco Alex Lima Barros; Carlos Alberto Martins Cordeiro

doi 10.37885/251120604 188

Capítulo 12

APROVEITAMENTO TECNOLÓGICO DE SUBPRODUTOS DE FRUTOS DE PALMEIRAS PARA A OBTENÇÃO DE INGREDIENTES E PRODUTOS PANIFICADOS

Jucianne Martins Lobato; Thayza Christina Montenegro Stamford; Tânia Lúcia Montenegro Stamford

doi 10.37885/251120612 204

Capítulo 13

PROTEÍNAS ALTERNATIVAS: REPENSANDO A MATRIZ ALIMENTAR GLOBAL

Julie Suzan da Silva

doi 10.37885/251120708 223

Capítulo 14

CAFÉ DE AÇAÍ: CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E CONCENTRAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS EM DIFERENTES FORMAS DE PREPARO PARA CONSUMO ;

Beatriz Botelho Klein; Jorge Neto Ganiko; Adriana Paiva de Oliveira

doi 10.37885/251220725 242

Capítulo 15

FUNDAMENTOS DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS: BASES CONCEITUAIS PARA FORMAÇÃO DE LICENCIANDOS EM QUÍMICA

Evelyn Ivana Trindade Damasceno Alves

doi 10.37885/251220839 264

Capítulo 16**AVALIAÇÃO DO DESPERDÍCIO NO SETOR DE HORTIFRUTI EM SUPERMERCADOS DO MUNICÍPIO DE AÇAILÂNDIA- MA**

André Gustavo Lima de Almeida Martins; Cristiane Pinheiro Maia de Araújo; Anna Laura Furtado Corrêa ; Ivanyelle Mendes Santos; Stephanie Francynni Viana Sampaio

 10.37885/251220909 **283**

SOBRE OS ORGANIZADORES **302**

ÍNDICE REMISSIVO **304**

IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS DO PROGRAMA DE AQUISIÇÃO DE ALIMENTOS: DO COMBATE À FOME À VALORIZAÇÃO DA AGRICULTURA FAMILIAR EM CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ, BRASIL

Barbara de Oliveira Silva

Secretaria Municipal de Agricultura, Pecuária e Infraestrutura Rural de Campos dos Goytacazes (SEMAPI)

Paulo Cesar dos Santos

Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

Almy Junior Cordeiro De Carvalho

Secretaria Municipal de Agricultura, Pecuária e Infraestrutura Rural de Campos dos Goytacazes (SEMAPI)

Gleiciane Pimentel

Secretaria Municipal de Agricultura, Pecuária e Infraestrutura Rural de Campos dos Goytacazes (SEMAPI)

Bruna Rangel Neves

Secretaria Municipal de Agricultura, Pecuária e Infraestrutura Rural de Campos dos Goytacazes (SEMAPI)

Vinicius de Freitas Manhães

Secretaria Municipal de Agricultura, Pecuária e Infraestrutura Rural de Campos dos Goytacazes (SEMAPI)

Rômulo André Beltrame

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)

Pedro Campeão

Secretaria Municipal de Agricultura, Pecuária e Infraestrutura Rural de Campos dos Goytacazes (SEMAPI)

RESUMO

O Programa de Aquisição de Alimentos (PAA), criado em 2003, constitui-se como uma das principais políticas públicas brasileiras de apoio à agricultura familiar e de promoção da segurança alimentar e nutricional. Este estudo analisa a execução do PAA no município de Campos dos Goytacazes/RJ no período de 2022 até 2025, com base em dados de editais e indicadores socioeconômicos, considerando também uma análise de riscos para sua sustentabilidade. A execução municipal tem garantido maior previsibilidade e confiança aos agricultores, permitindo planejamento da produção e diversificação de culturas. Entre os resultados observados, destacam-se a inclusão de 200 agricultores familiares, a aquisição de 300 toneladas de alimentos e o atendimento de aproximadamente 3.800 famílias, bem como a ampliação da rede de instituições beneficiadas. Tais resultados reforçam a relevância do PAA como instrumento de fortalecimento da agricultura local, promoção da inclusão produtiva e garantia do direito humano à alimentação adequada. Os riscos mais críticos relacionam-se à dependência de recursos federais sendo mitigação desse risco envolve estratégias como diversificação das fontes de financiamento, fortalecimento da governança local, investimentos em infraestrutura e ampliação da participação social. Conclui-se que o PAA em Campos dos Goytacazes representa uma experiência exitosa, mas sua consolidação exige medidas que assegurem resiliência institucional, sustentabilidade financeira e maior integração comunitária.

Palavras-chave: Políticas públicas; segurança alimentar; desenvolvimento rural; agricultor familiar.

INTRODUÇÃO

A agricultura familiar desempenha papel central na agricultura brasileira, representando 77% dos estabelecimentos rurais, 23% da produção agropecuária e empregando 67% da força de trabalho rural, segundo o último Censo Agropecuário (IBGE, 2025). Apesar dessa significativa representatividade, até a década de 1990 praticamente nenhuma política nacional era direcionada a esse segmento (CAMARGO *et al.*, 2013). Um marco relevante foi a criação do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) em 1996, que estabeleceu linhas de crédito subsidiadas e se consolidou como instrumento fundamental de apoio à produção familiar (GRISA e SCHNEIDER, 2014; SILVA; DEL GROSSI; FRANÇA, 2010).

Embora as políticas de crédito sejam essenciais, elas não são suficientes para garantir estabilidade na produção e comercialização. Para enfrentar essa lacuna, foi criado, em 2003, o Programa de Aquisição de Alimentos (PAA), por meio da Lei nº 10.696 e regulamentado pelo Decreto nº 7.775/2012 (BRASIL, 2012). Estruturado em diferentes modalidades, o PAA tem como objetivos assegurar o acesso à alimentação adequada para populações em situação de insegurança alimentar e nutricional (InSAN) e promover a inserção da agricultura familiar em mercados institucionais (MULLER; FIALHO; SCHNEIDER, 2007; SAMBUICHI *et al.*, 2019; PERIN *et al.*, 2021).

Ao longo dos anos, o programa passou por reformulações, incluindo sua transformação temporária em Programa Alimenta Brasil em 2021 (Lei nº 14.628/2023; Decreto nº 11.802/2023), mantendo, contudo, suas principais modalidades e diretrizes (BRASIL, 2021). A Compra com Doação Simultânea é a modalidade especialmente relevante no nível municipal, pois conecta agricultores familiares diretamente a instituições socioassistenciais, como bancos de alimentos, cozinhas comunitárias e equipamentos públicos de segurança alimentar. Isso não é mera logística; é uma corrente de solidariedade viva, que resgata a dignidade, combate à fome e fortalece o tecido social, refeição a refeição.

A relevância do PAA vai além da segurança alimentar: também contribui para o fortalecimento das economias locais, a preservação de práticas produtivas regionais e o estímulo à permanência do agricultor familiar no campo (GRISA *et al.*, 2011; SAMBUICHI *et al.*, 2019). Segundo dados do IBGE (2023), mais de 21

milhões de domicílios brasileiros vivenciam algum grau de insegurança alimentar, com o estado do Rio de Janeiro apresentando um crescimento de 22,6% para 36,7% nos últimos anos. Nesse contexto, políticas públicas como o PAA são estratégicas para a redução da fome e da vulnerabilidade social.

No município de Campos dos Goytacazes (RJ), a implementação do programa representa uma estratégia de articulação entre segurança alimentar e desenvolvimento rural sustentável, ao estimular circuitos curtos de comercialização e o fornecimento direto de alimentos diversificados, frescos e culturalmente adequados para famílias em situação de vulnerabilidade. Dessa forma, o PAA demonstra potencial para atender simultaneamente dimensões sociais, econômicas e ambientais da sustentabilidade (RESQUE *et al.*, 2019).

Embora diversos estudos tenham analisado o papel do PAA no fortalecimento da agricultura familiar e na promoção da segurança alimentar em escala nacional (SAMBUICHI *et al.*, 2019; GRISA e SCHNEIDER, 2014), ainda são escassos os trabalhos no estado do Rio de Janeiro que abordam de forma aprofundada as experiências locais de implementação e seus desafios institucionais. A literatura existente concentra-se majoritariamente em análises agregadas ou nacionais, deixando uma lacuna sobre como os municípios estruturam e sustentam o programa diante de riscos financeiros, políticos e operacionais.

Neste contexto, objetivou-se com esse trabalho analisar o Programa de Aquisição de Alimentos (PAA) no município de Campos dos Goytacazes/RJ, Brasil, no período de 2022 a 2025, considerando sua execução financeira, os impactos sociais transformadores gerados e os principais riscos associados, de modo a compreender sua contribuição para a segurança alimentar e nutricional e para o desenvolvimento rural sustentável.

MÉTODOS

O presente estudo adota uma abordagem de estudo de caso qualitativo e quantitativo, centrado na execução municipal do Programa de Aquisição de Alimentos (PAA) em Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil, no período de 2022 a 2025. O delineamento da pesquisa combina a análise de documentos oficiais, relatórios de gestão do programa e dados socioeconômicos secundários

com a aplicação de um marco de análise de riscos, a fim de avaliar a sustentabilidade da política pública.

As principais fontes de informação utilizadas foram: Editais municipais do PAA (2022–2025), que forneceram dados sobre os recursos financeiros aplicados, bem como de informações complementares fornecidas em reuniões técnicas realizadas com gestores, dirigentes de instituições socioassistenciais e representantes de agricultores familiares vinculados ao programa, essas reuniões ocorreram geralmente na sede da Secretaria Municipal de Agricultura, Pecuária e Infraestrutura Rural (SEMAPI) do município de Campos dos Goytacazes. São convidados e participam os representantes das 17 instituições atendidas, e os 200 agricultores, além de cerca de 8 técnicos da SEMAPI . Esses documentos permitiram quantificar o número de agricultores participantes, os volumes de alimentos adquiridos e o perfil das culturas fornecidas. As observações sobre a adoção de novas práticas agrícolas e diversificação produtiva foram levantadas a partir de registros de acompanhamento técnico.

A análise foi conduzida em duas etapas, sendo a primeira a análise descritiva: sistematização de indicadores quantitativos a partir dos editais municipais, organizados em tabelas que destacam a execução financeira, o número de agricultores familiares envolvidos, os volumes de alimentos adquiridos e o alcance social do programa.

Em seguida, foi realizado a Análise de Risco por meio da elaboração de um Mapa de Risco, classificando as vulnerabilidades em seis categorias: financeira, institucional, política, produtiva, logística e social. Para a elaboração do Mapa de Risco, adotou-se o método de Matriz de Risco Qualitativa (TCU, 2018). Cada risco identificado foi avaliado a partir de dois parâmetros: probabilidade de ocorrência e impacto sobre o Programa de Aquisição de Alimentos, ambos categorizados em uma escala ordinal de 1 a 5, em que 1 representa baixo e 5 representa muito alto. A combinação dos dois parâmetros resultou em uma matriz 5x5, cujo produto (Probabilidade × Impacto) permitiu determinar o nível de risco inerente. Os riscos foram avaliados quanto à probabilidade e ao impacto, com a identificação de consequências e medidas de mitigação a partir da literatura e de discussões com atores locais.

RESULTADOS

Desde 2022, a Prefeitura de Campos dos Goytacazes, por meio da Secretaria Municipal de Agricultura, Pecuária e Infraestrutura Rural, vem executando de forma sistemática o (PAA) com recursos federais. Até o momento, o montante aplicado foi de R\$ 1.752.615,84 executado no período de 2022 até 2025 com a compra de 300 toneladas em produtos (Tabela 1).

Para o edital de 2025/2026, ainda em fase de elaboração, está previsto o aporte de R\$ 500.000,00, sinalizando a intenção de manter a continuidade da política pública. Embora o edital ainda não esteja pronto, o planejamento orçamentário reforça o compromisso do Governo Federal como o Municipal em institucionalizar o PAA como estratégia permanente de desenvolvimento rural e segurança alimentar e nutricional.

Os benefícios da execução do PAA, contudo, não se restringem aos produtores rurais, visto que cerca de 3800 famílias em situação de insegurança alimentar foram atendidas com alimentos de excelente qualidade, garantindo segurança alimentar e nutricional fornecidos por 200 agricultores (Tabela 1). Este é o poder transformador que merece ser visto, apoiado e expandido.

Em relação ao número de instituições sociais e Centros de Referência da Assistência Social (CRAS) atendidos em Campos dos Goytacazes/RJ, observou-se aumento 54% (Tabela 1).

Tabela 1 - Execução do Programa de Aquisição de Alimentos (PAA) no município de Campos dos Goytacazes/RJ entre 2022 e 2026, contemplando valores investidos, número de agricultores participantes, quantidade de produtos adquiridos, famílias beneficiadas e instituições socioassistenciais atendidas em cada edital.

Edital	Valor (R\$)	Agricultores	Produtos adquiridos (t)	Famílias beneficiadas	Instituições		
					CRAS	CREAS	instituições socioassistenciais
2023/2022*	1.298.372,00	138	230	3000	12	3	11
2024 /2024**	454.243,84	200	70	2500	0	0	17
2025/2026***	500.000,00	-	-	-	-	-	-
Total	2.252.615,84	200	300****	3800*****			17

* Edital 001/2023 /2022, período de execução de 18/11/2022 até 19/11/2024;
**Edital 001/2024 /2024, período de execução de 15/07/2024 até 26/06/2025;
***Edital 2025/2026 em fase de elaboração;
****O número de agricultores aumentou de um edital para o outro com um acréscimo de 62 novos produtores;
***** Com relação ao total de famílias foi considerada as 3000 famílias do primeiro edital e as 800 famílias substituídas no segundo edital, o que nos traz o número de 3800 famílias.

O programa contou com a participação de agricultores dos seguintes municípios: Campos dos Goytacazes, São Francisco de Itabapoana, Itaocara, Nova Friburgo, Santa Maria Madalena, São Sebastião do Alto, Bom Jardim, Cambuci, Macaé, Aperibé, São Fidelis e Sumidouro.

A elaboração do Mapa de Risco do Programa de Aquisição de Alimentos (PAA) em Campos dos Goytacazes permitiu identificar seis categorias principais de vulnerabilidades: financeira, institucional, política, produtiva, logística e social (Tabela 2). Os riscos de maior criticidade foram os de ordem financeira, ligados à redução ou a falta de um calendário de liberação de recurso e seu cumprimento. Também se destacou o risco político, relacionado a possíveis mudanças de governo e prioridades administrativas, que podem comprometer a continuidade do programa.

Entre os riscos considerados moderados, observou-se a baixa previsibilidade da demanda, as limitações organizacionais dos agricultores. Embora de menor probabilidade, esses fatores impactam diretamente a eficiência operacional e a variedade de alimentos ofertados.

A redução de repasses, a dependência de editais imprevisíveis e a demanda incerta não são apenas entraves burocráticos; são as forças que prejudicam a segurança alimentar de quem mais precisa, desmantelam a produção dos agricultores, atrasam os planos de vida deles e corroem a dignidade das comunidades rurais. Essa instabilidade paralisa o programa, coloca em risco a economia rural e, em última instância, o futuro de um país mais justo e nutrido, exigindo uma ação decisiva para blindar essa base vital (Tabela 2).

Diante disso, o Mapa de Risco revela uma verdade inquestionável: a sustentabilidade do PAA, pilar essencial que alimenta famílias e impulsiona os agricultores, transcende a mera garantia de recursos financeiros e institucionais, envolvendo colaboração ativa na otimização dos elos produtivos e logísticos, e, crucialmente, pela intensificação e o engajamento da participação social. Sendo assim, há necessidade urgente de mobilização coletiva para que o programa continue transformando vidas e construindo e ampliando um futuro com segurança alimentar e nutricional.

Tabela 2 - Mapa de risco do Programa de Aquisição de Alimentos (PAA) no município de Campos dos Goytacazes/RJ, destacando categorias de risco, probabilidades, impactos, consequências e medidas de mitigação propostas para a sustentabilidade da política pública.

Categoria	Risco Identificado	Probabilidade	Impacto	Nível de risco inerente	Consequências	Medidas de Mitigação
Financeiro	Redução ou atraso no repasse de recursos federais	Alta	Alto	Alto	Paralisação parcial do programa; insegurança entre agricultores	Diversificar fontes de financiamento (programas estaduais, parcerias); fundo municipal
Institucional	Dependência excessiva de editais anuais	Alta	Alto	Alto	Instabilidade na participação dos agricultores; dificuldade de planejamento	Arranjos institucionais permanentes; legislação municipal de segurança alimentar
Político	Mudanças de governo e prioridades	Média	Alto	Alto	Descontinuidade ou reestruturação do programa	Reforçar governança via COMSEA e sociedade civil; garantir participação comunitária
Produtivo	Baixa previsibilidade da demanda	Alta	Médio	Alto	Desorganização da produção; risco de perdas de alimentos	Instituição de Calendário prévio
Social	A redução dos repasses de recurso e/ou descontinuidade do programa	Alto	Alto	Alto	Redução do alcance social; menor diversidade de alimentos	Recursos municipais, estaduais ou parcerias público-privada (PPP)

DISCUSSÃO

A execução do terceiro edital consecutivo do PAA propicia aos agricultores maior previsibilidade e confiança no programa, o que possibilita planejamento e segurança para a oferta de produtos destinados às compras públicas. Esse aspecto é corroborado por estudos nacionais, que apontam que tanto o PAA quanto o Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE) apresentam impactos positivos e significativos na renda dos agricultores familiares, sobretudo

entre aqueles de menor renda, justamente os mais vulneráveis e dependentes desses mercados (ELIAS *et al.*, 2024).

Um dos principais desafios enfrentados pelos agricultores em programas governamentais é justamente a falta de previsibilidade, que impede a organização da produção e limita a capacidade produtiva. A consolidação do PAA em Campos dos Goytacazes/RJ tem-se mostrado uma solução efetiva para esse problema, permitindo que mais produtores se inscrevam e participem. Conforme destacado por Castilla Carrascal e Niederle (2025), os programas de compras públicas reduzem a dependência dos agricultores de intermediários e estimulam a diversificação produtiva, a criação de novos mercados e a busca por orientação técnica, o que se conecta diretamente ao avanço observado no município.

Entre os 200 agricultores participantes do PAA (Tabela 1), observou-se a busca por boas práticas agrícolas para garantir a oferta de produtos seguros e diversificados. Muitos produtores passaram a introduzir novas culturas, notadamente hortícolas, Plantas alimentícias não convencionais (PANC'S) e frutíferos, para além das tradicionais como cana-de-açúcar, mandioca e abacaxi. Esse movimento contribuiu não apenas para ampliar a diversidade produtiva, mas também para assegurar parte da produção destinada ao autoconsumo, fortalecendo a segurança alimentar das famílias agricultoras.

Além de fortalecer a agricultura local, o PAA em Campos tem atraído agricultores da Região Serrana do estado do Rio de Janeiro, especialmente Nova Friburgo, para a comercialização de hortaliças de flores e folhas, culturas que encontram condições de cultivo limitadas no Norte Fluminense. Experiências avaliadas por Baccarin e Fonseca (2022) em São Paulo mostram que a descentralização das compras públicas possibilita a vinculação das aquisições ao desenvolvimento local, criando oportunidades para agricultores de diferentes territórios e ampliando a circulação de alimentos *in natura* e perecíveis.

Outro benefício observado no município foi a maior participação dos agricultores familiares em reuniões periódicas realizadas a cada edital, nas quais são discutidas a organização da oferta e a priorização dos produtores. Ao otimizar a oferta e reduzir a sobreposição de produtos, essa prática não só fortalece a cooperação e a economia rural, garantindo o sucesso das vendas e a dignidade do sustento para os produtores, mas também assegura alimentos mais variados e de qualidade para as comunidades vulneráveis. Este

modelo de governança participativa demonstra a vital importância do diálogo na construção de políticas públicas eficazes, minimizando desperdícios, maximizando o impacto social e forjando laços comunitários e políticos que são a base de um futuro alimentar seguro para todos.

Sendo assim, a execução do PAA é um pilar vital, assegurando a oferta de alimentos de excelência que não apenas nutrem, mas garantem a segurança alimentar e nutricional de comunidades inteiras, assim como relatado por Elias *et al.* (2024), em que os efeitos das compras públicas não se limitam ao incremento da renda dos fornecedores, mas também se traduzem em maior acesso a alimentos saudáveis por populações vulnerabilizadas, fortalecendo a dimensão da segurança alimentar.

Por fim, observa-se que o crescimento no atendimento de instituições sociais e Centros de Referência da Assistência Social (CRAS) em Campos dos Goytacazes/RJ estão em consonância com análises mais amplas sobre o papel estratégico das compras governamentais. Segundo Castilla Carrascal e Niederle (2025), a sustentabilidade desses programas depende não apenas do aporte de recursos, mas também da construção de arranjos institucionais resilientes, capazes de resistir a mudanças abruptas de orientação política. Nesse sentido, a execução continuada do PAA em Campos dos Goytacazes desde 2022 sinaliza um processo de institucionalização local relevante, que favorece tanto os agricultores quanto às famílias beneficiadas.

Ao analisar o mapa de risco, observou-se que a categoria financeiro, associada à redução ou atraso nos repasses federais, é a de maior impacto, pois pode comprometer toda a execução do programa, afetando tanto agricultores fornecedores quanto famílias beneficiadas. Esse risco se conecta diretamente à dependência institucional dos editais anuais de repasse de recursos federais. Esse aspecto foi anteriormente identificado em estudos nacionais, que apontam a limitação orçamentária e a descontinuidade como fatores que ameaçam a sustentabilidade do PAA e de políticas correlatas (MACHADO, 2025). Nessa linha, torna-se necessário buscar fontes complementares de financiamento, tanto por parte do município quanto por parcerias com programas estaduais e iniciativas privadas de responsabilidade social (SAMBUICHI *et al.*, 2017).

No campo político, o risco está ligado a possíveis mudanças de governo e prioridades administrativas, o que pode gerar descontinuidade ou reestruturações

bruscas no programa. A mitigação desse risco depende fortemente do fortalecimento da governança local, especialmente da atuação do Conselho Municipal de Segurança Alimentar e Nutricional (COMSEA) e das organizações da sociedade civil, que garantem controle social e maior institucionalização do PAA no município. Experiências relatadas por Resque *et al.* (2019) demonstram que a efetividade de programas de compras públicas depende diretamente da capacidade de articulação institucional e da consolidação de arranjos de governança.

Entre os riscos classificados como moderados, destacam-se o de caráter produtivo. A baixa previsibilidade da demanda é um desafio recorrente, pois compromete a organização da produção agrícola, aumenta o risco de perdas e reduz a confiança dos agricultores no programa.

Assim, o Mapa de Risco revela que, para garantir a sustentabilidade do PAA, é essencial combinar segurança financeira e institucional com melhorias produtivas, além de estimular maior participação social. A mitigação desses riscos passa pela diversificação de fontes de financiamento, planejamento participativo com agricultores, investimentos em infraestrutura local e estratégias de comunicação que ampliem o engajamento da comunidade. Dessa forma, o programa pode fortalecer-se progressivamente como um instrumento permanente de apoio à agricultura familiar e de promoção da segurança alimentar no município.

CONCLUSÃO

O PAA em Campos dos Goytacazes tem impactos relevantes na geração de renda para agricultores familiares e na ampliação do acesso a alimentos de qualidade por famílias em situação de insegurança alimentar.

A execução local propicia avanços na diversificação produtiva, no fortalecimento da agricultura familiar e na integração de arranjos institucionais que favorecem a continuidade do programa.

O Mapa de Risco elaborado revela vulnerabilidades críticas, principalmente de ordem financeira e política, que podem comprometer sua sustentabilidade.

A proposta de diversificar as fontes de financiamento com recursos municipais é uma estratégia essencial e urgente para blindar o programa, assegurando sua continuidade e consolidando o futuro da segurança alimentar e do desenvolvimento rural da região.

REFERÊNCIAS

- ASSIS, S. C. R. *et al.* Impacto do Programa de Aquisição de Alimentos na diversificação da produção, autoconsumo e segurança alimentar. *Ciência e Saúde Coletiva*, v. 22, n. 2, p. 617-626, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/ZZJFFCtLGfBxxzhQnQFnK6K/?lang=pt>.
- BRASIL. Decreto nº 11.802, de 28 de novembro de 2023. Regulamenta a Lei nº 14.628, de 20 de julho de 2023. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2023.
- BRASIL. Decreto nº 11.822, de 12 de dezembro de 2023. Institui a Estratégia Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2023.
- BRASIL. Decreto nº 11.937, de 5 de março de 2024. Regulamenta a Lei nº 14.628, de 20 de julho de 2023, no que se refere às cozinhas solidárias. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2024.
- BRASIL. Decreto nº 7.775, de 04 de maio de 2012. Regulamenta o art. 19 da Lei nº 10.696, de 2 de julho de 2003, que institui o Programa de Aquisição de Alimentos – PAA. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2012.
- BRASIL. Lei nº 14.628, de 20 de julho de 2023. Dispõe sobre o Programa Alimenta Brasil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2023.
- BRASIL. Medida Provisória nº 1.061, de 9 de agosto de 2021. Institui o Programa Alimenta Brasil e o Programa Auxílio Brasil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2021.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome. Programa de Aquisição de Alimentos – PAA. Brasília: MDS, 2017.
- CAMARGO, R. A. A.; BACCARIN, J. G. e SILVA, D. B. Políticas públicas para a agricultura familiar no Brasil: avanços e limites. *Revista de Política Agrícola*, Brasília, v. 22, n. 3, p. 20-31, 2013.
- FAO; IFAD; UNICEF; WFP; WHO. *The State of Food Security and Nutrition in the World 2020: Transforming food systems for affordable healthy diets*. Rome: FAO, 2020. DOI: <https://doi.org/10.4060/ca9692en>.
- GLOPAN – Global Panel on Agriculture and Food Systems for Nutrition. *Food systems and diets: Facing the challenges of the 21st century*. London: GLOPAN, 2016. Disponível em: <https://www.glopan.org/reports/>.
- GRISA, C. e SCHNEIDER, S. Três gerações de políticas públicas para a agricultura familiar e formas de interação entre sociedade e Estado no Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, Brasília, v. 52, supl. 1, p. 125-146, 2014.
- GRISA, C.; WESZ JUNIOR, V. J. e BUCHWEITZ, V. C. A. A produção de alimentos da agricultura familiar no Brasil: desafios e oportunidades para o abastecimento alimentar. *Segurança Alimentar e Nutricional*, Campinas, v. 18, n. 2, p. 1-16, 2011.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Agropecuário 2017: Resultados definitivos*. Rio de Janeiro: IBGE, 2017.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Pesquisa de Orçamentos Familiares 2017-2018: Análise da segurança alimentar no Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua: Segurança alimentar no Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

MACHADO, G. Contribuições do PNAE e PAA para o fortalecimento da agricultura familiar e promoção da segurança alimentar no Brasil (2015-2025): uma revisão integrativa. *Research, Society and Development*, v. 14, n. 3, p. e492314203, 2025. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/download/49231/38546/503428>.

MULLER, A. L.; FIALHO, M. A. V. e SCHNEIDER, S. O Programa de Aquisição de Alimentos da agricultura familiar (PAA) em perspectiva: apontamentos e questões para o debate. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, Brasília, v. 45, n. 2, p. 1-20, 2007.

PERIN, G.; CUNHA, M. S. e MACHADO, G. Agricultura familiar e segurança alimentar: reflexões sobre o Programa de Aquisição de Alimentos (PAA). *Revista de Políticas Públicas*, São Luís, v. 25, n. 2, p. 345-364, 2021.

RESQUE, L. G. *et al.* Agrobiodiversity and public food procurement programs in Brazil: Influence of PAA and PNAE on local development and biodiversity. *Sustainability*, Basel, v. 11, n. 5, p. 1425, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11051425>.

SAMBUICHI, R. H. R. *et al.* Programa de Aquisição de Alimentos: uma análise da execução e dos limites estruturais. Brasília: IPEA, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/9617>.

SAMBUICHI, R. H. R. *et al.* Programa de Aquisição de Alimentos: uma análise da execução e dos limites estruturais. *Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA*, Brasília, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/server/api/core/bitstreams/795cd4c1-86bc-4eae-8f21-c70d1253e505/content>

SEGALL-CORRÊA, A. M. *et al.* Relatório final da validação do Inquérito de Segurança Alimentar. Campinas: UNICAMP, 2014.

SEGALL-CORRÊA, A. M. e MARIN-LEON, L. A segurança alimentar no Brasil: proposição e usos da escala brasileira de medida da insegurança alimentar (EBIA). *Segurança Alimentar e Nutricional*, Campinas, v. 16, n. 2, p. 1-19, 2009.

SILVA, J. G.; *et al.* O Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF): evolução e perspectivas. Brasília: MDA, 2010.

SILVA, P. C. e NUNES, A. A. Políticas públicas e segurança alimentar: o papel do PAA no desenvolvimento rural. *Revista Brasileira de Políticas Públicas*, Brasília, v. 14, n. 1, p. 87-102, 2024.

TCU – Tribunal de Contas da União. *Referencial Básico de Gestão de Riscos: princípios e diretrizes*. 2. ed. Brasília: TCU, Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão, 2018.

UNSCN – United Nations System Standing Committee on Nutrition. *Food environments: Where people meet the food system*. Rome: UNSCN, 2020. Disponível em: <https://www.unscn.org/en/topics/food-environments>.

ROTULAGEM NUTRICIONAL NO BRASIL: PERCEPÇÃO DO CONSUMIDOR E CONFORMIDADE DOS PRODUTOS NO PERÍODO DE IMPLEMENTAÇÃO

Bianca Pazinato

Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Carmen Torres Guedes

Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Ana Clara Souza

Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Tamires dos Santos de Lima

Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Gabriela Secato Rodriguero

Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Nataliene de Jesus Camara

Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Nuria Armantina Silva del Aguila

Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Caroline Wolf Trentini Schipfer

Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Ellen Cristina de Moraes Costa

Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Monica Regina da Silva Scapim

Universidade Estadual de Maringá (UEM)

RESUMO

Objetivo: O aumento das doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) tem sido associado ao consumo excessivo de nutrientes como açúcares, gorduras e sódio. Para informar a população e reduzir esses riscos, o governo brasileiro reformulou as regras de rotulagem de alimentos, tornando obrigatória a exibição de alertas de excesso de nutrientes no painel frontal das embalagens e a declaração nutricional por 100 g ou 100 mL, além da porção caseira. Este estudo teve como objetivo avaliar o impacto dessas mudanças na percepção dos consumidores e analisar rótulos de produtos disponíveis no mercado durante a implementação da nova legislação.

Métodos: Realizou-se uma pesquisa online com 78 participantes e a análise de rótulos de doces, salgadinhos e produtos lácteos, indicados pelos consumidores como os mais afetados pelas novas rotulagens.

Resultados: A maioria dos entrevistados percebeu as mudanças, embora o alerta frontal não tenha reduzido o consumo de alimentos já conhecidos. Entretanto, os consumidores demonstraram preferência por novos produtos dentro dos limites críticos estabelecidos. Entre os rótulos avaliados, a maioria estava conforme as normas vigentes. As não conformidades foram observadas em marcas amparadas pela RDC nº 818/2023, que autoriza o uso de embalagens produzidas até outubro de 2023 até 9 de outubro de 2024. **Conclusão:** A reformulação da rotulagem nutricional representa uma política pública relevante no enfrentamento das DCNT, embora ainda sejam necessárias medidas fiscais e regulatórias que estimulem o desenvolvimento de alimentos mais saudáveis.

Palavras-chave: Alerta de rotulagem frontal; políticas de combate a DNT; tabela nutricional.

INTRODUÇÃO

As embalagens, além de atuarem como uma barreira de conservação da qualidade físico-química, microbiológica e nutricional dos alimentos, possuem uma função crucial na seleção dos produtos, utilizando de estímulos visuais que despertam interesse e impactam as decisões de compra dos consumidores (Cheng *et al.*, 2024; Ahmed *et al.*, 2025).

Por meio da rotulagem contida nas embalagens é possível ainda, obter informações relevantes sobre o produto, em especial as informações nutricionais que apresentam o potencial de incentivar e colaborar no aprimoramento crítico dos consumidores em relação às escolhas alimentares realizadas, sendo estas mais conscientes e equilibradas (Geraldo *et al.*, 2023).

Apesar da rotulagem favorecer a escolha do produto, muitos consumidores ainda encontram dificuldade em sua compreensão ocasionando o desuso desta informação principalmente para aqueles com baixo nível de alfabetização em saúde e conhecimento (Malloy-Weir *et al.*, 2017, Persoskie *et al.*, 2017; Gilic, Kennedy & Kearney, 2025). Isso se dá pela falta de conhecimento da alfabetização alimentar que não tem uma definição específica, mas é muito usado pela indústria, organizações de nutrição de saúde pública e formuladores de políticas.

Vidgen e Gallegos (2014) definiram a alfabetização alimentar como “um conjunto de conhecimentos, habilidades e comportamentos inter-relacionados necessários para planejar, gerenciar, selecionar, preparar e consumir alimentos para atender às necessidades e determinar a ingestão”. Em outras palavras, é um fenômeno complexo que compreende múltiplos atributos (Sousa *et al.*, 2023; Gilic, Kennedy & Kearney, 2025).

Nesse sentido, a adesão da rotulagem frontal fornece aos consumidores informações confiáveis, acessíveis e fáceis de usar sobre a saúde dos alimentos embalados (OMS, 2019; Lemmon *et al.*, 2026). As mudanças na rotulagem foram estabelecidas pela Resolução de Diretoria Colegiada – RDC nº 429 e Instrução Normativa (IN) nº 75 de 2020, publicadas em outubro de 2020. As novas regras para rotulagem de alimentos estabelecem mudanças na tabela de informações e nas alegações nutricionais, que serão dispostas apenas em letras pretas e fundo branco, bem como a adoção de um novo item que é a rotulagem nutricional frontal. Tendo por objetivo melhorar a clareza e legibilidade dos rótulos

dos alimentos e, assim, auxiliar o consumidor a fazer escolhas alimentares mais conscientes (RDC nº 429, 2020).

Com o objetivo de verificar o cumprimento da legislação brasileira de rotulagem alimentar e a percepção do consumidor sobre a mudança das normas legislativas, esse trabalho buscou desenvolver uma pesquisa online com o consumidor e um estudo transversal sobre as condições das informações dos rótulos de diferentes grupos de alimentos em conformidade ou não com a IN 75/2020.

MÉTODOS

Pesquisa de mercado online

Com o intuito de avaliar o impacto da nova rotulagem de alimentos disposta na RDC Nº 429/ 2020 da Anvisa nas escolhas dos consumidores, foi realizada uma pesquisa de mercado online por meio da plataforma do *Google Forms*. O instrumento de coleta de dados contemplou questões de caráter sociodemográfico, incluindo sexo, faixa etária e renda dos participantes. Foram avaliados, ainda, o nível de conhecimento prévio dos entrevistados acerca da rotulagem de alimentos e a percepção quanto às classes de produtos que, em sua opinião, mais sofreram impacto com a implementação da nova legislação de rotulagem em 2023 (produtos lácteos, salgadinhos, doces, bebidas, produtos de panificação, massas, óleos e gorduras, entre outros). Para complementar a investigação, foram apresentadas imagens simulando as alterações exigidas pela legislação em um rótulo de produto, de modo a verificar se os consumidores identificam corretamente as mudanças e se consideram que estas facilitam a compreensão das informações nutricionais. Ademais, buscou-se avaliar a percepção dos entrevistados sobre a relevância de os alimentos atenderem aos limites de nutrientes estabelecidos pela norma.

Amostragem e coleta de dados

A partir dos resultados obtidos na pesquisa de mercado, especialmente na questão sobre a categoria de produtos que mais sofreram impacto com a nova rotulagem, foram coletados dados de rótulos das 3 classes de alimentos mais

apontados pelos consumidores (doces, salgadinhos e produtos lácteos). A pesquisa foi conduzida no mês de novembro de 2023, em supermercados da região de Maringá-PR e Paranavaí-PR.

Para a coleta das informações, os rótulos foram fotografados com auxílio de smartphones e avaliados através de um checklist de acordo com Instrução Normativa (IN) 75/2020 da RDC nº 429/2020. Para todos os rótulos foi avaliada a presença da tabela nutricional frontal e obrigatória de acordo com a normativa. Em conjunto, foram observadas as informações como: presença de alegação funcional, alerta de: corantes e aromatizantes artificiais, novas fórmulas/composições/receitas, apelos mercadológicos/frases de marketing e também a lista de ingredientes.

DISCUSSÃO

Pesquisa de mercado online

A pesquisa de mercado online contou com a participação de 76 entrevistados. Destes, 68,4% correspondem ao sexo feminino e 31,6% ao sexo masculino. Além disso, a grande maioria dos entrevistados (75%) possuem idade entre 19 e 29 anos, e uma parcela considerável (18,4%) de 30 a 40 anos.

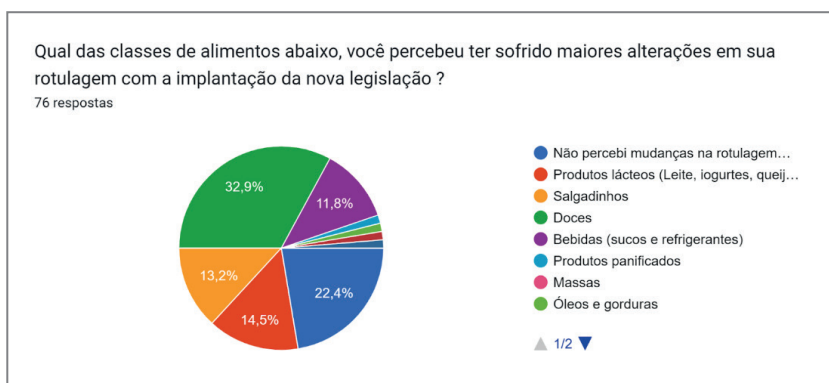
Em relação a renda mensal média dos entrevistados, 48,7% alegam possuir renda mensal de até R\$2.900,00; 43,4% renda mensal entre R\$2.900,01 e R\$7.100,00; e 7,9% renda mensal de R\$7.100,01 e R\$22.000,00. De acordo com a classificação popularmente utilizada, a maioria dos entrevistados enquadram-se economicamente como classe D/E (InfoMoney, 2022).

Quanto a terem ou não conhecimento sobre as mudanças na rotulagem de alimentos, a grande maioria, 66,7%, alegaram ter conhecimento sobre as mudanças, enquanto, 33,3% não têm conhecimento sobre.

Na Figura 1, estão dispostas as respostas dos entrevistados quando questionados sobre qual classe de alimentos perceberam ter sofrido maiores alterações em sua rotulagem com a implantação da nova legislação. A partir dele, é possível verificar que Doces são apontados como a principal categoria de alimentos que sofreram mudanças em sua rotulagem (32,9%), seguido de Produtos lácteos (14,5%) e Salgadinhos (13,2%). Vale ressaltar ainda, que

uma parcela significativa dos entrevistados (22,4%) respondeu não perceber mudanças em nenhuma das classes de alimentos apresentadas. Dentre as questões fornecidas na pesquisa com o consumidor, uma foi baseada em uma imagem meramente ilustrativa (Figura 2), a pergunta dizia: “A imagem abaixo representa um produto que sofreu alteração no rótulo devido às novas regras brasileiras para rotulagem de alimentos. Essa mudança fez, de alguma forma, você deixar de comprar ou diminuir a frequência de compra de um produto que você já consumia antes?”.

Figura 1 - Classes de Alimentos que sofreram maiores alterações em sua rotulagem com a implantação da nova legislação, segundo os entrevistados.



Fonte: Autores.

Figura 2 - Produto com rotulagem frontal.



Fonte: Sari Fontana.

A mudança na rotulagem é uma forma de ajudar o consumidor a ingerir produtos mais saudáveis, essa mudança foi bem visual logo subentende-se que os consumidores não só notariam sua presença mais sim reavaliaram se iriam comprar o produto. No entanto, nossa pesquisa mostra que 71,1% do público entrevistado não mudariam seus hábitos mesmo que não sejam tão benéficos para a saúde, enquanto que 21,1% disseram que não comprariam ou diminuiriam a frequência de compra, e por fim os 7,9% que não souberam responder.

Essas respostas possivelmente apresentam essas características por conta do público analisado, que são em sua maioria pessoas com uma renda salarial, que pode chegar até R\$2.900,00, o que nos faz entender que a pessoa leva em consideração na compra do produto o preço e não sua qualidade, visto que que grande maioria dos entrevistados sabiam da mudança na rotulagem.

Essa pesquisa corrobora com o trabalho de Jahn *et al.*, (2023) e Gonzalez *et al.*, (2025) em que o alerta de excesso de nutriente no painel principal da embalagem não diminuiu a intenção de compra de um produto pelo consumidor, mas quando inseridos em rótulos que apresenta algum tipo de alegação, por exemplo baixo teor de gordura, mas com alerta de excesso de açúcares adicionados, foram indesejados pelos consumidores. Os autores afirmam ainda que a nova rotulagem não implica necessariamente na venda de todos os produtos não saudáveis, mas auxilia no combate de práticas de marketing enganosas em alimentos.

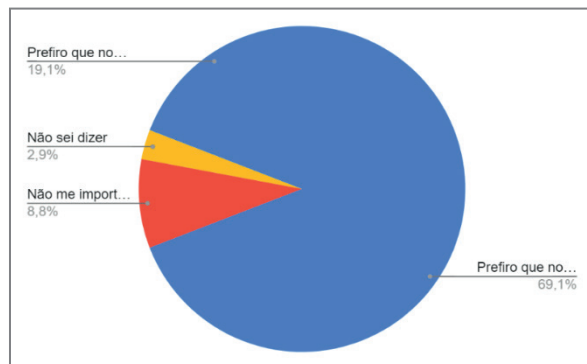
Foram questionados também aos entrevistados sobre a reformulação da tabela nutricional e se o novo formato auxiliaria na interpretação dos resultados e comparação com outros produtos.

A maioria dos entrevistados (80%) considera positiva a mudança no formato da tabela nutricional, portanto, o acesso à informação atingiu o objetivo esperado pela política governamental implantada. Apenas 9,2% dos entrevistados consideram que a tabela nutricional não contribuiu para a melhor comparação com outros alimentos.

Quando questionados sobre os desenvolvimentos de novos produtos e formulações de alimentos, a maior parte dos entrevistados (88,2%) dizem preferir que novos alimentos estejam dentro do limite de açúcares, sólidos e gorduras saturadas, portanto, sem o alerta de rotulagem frontal. Essa resposta foi obtida após informar o consumidor sobre os riscos à saúde quando esses

nutrientes estão presentes em excesso no alimento. Observa-se que nesse mesmo questionário, os entrevistados afirmaram não diminuir ou interromper o consumo de alimentos fora dos limites críticos estabelecidos pela legislação (Figura 3). Isso nos mostra que informar ao consumidor sobre esses riscos pode impactar significativamente na escolha do produto.

Figura 3 - Impactos do alerta de rotulagem frontal nos desenvolvimentos de novos produtos.



Fonte: Autores.

Amostragem e coleta de dados

De acordo o formulário online, as três classes de alimentos que estes julgaram ter sofrido maiores alterações na rotulagem foram os alimentos (1) doces, (2) salgadinhos e (3) produtos lácteos. A partir deste resultado, foi realizada a pesquisa de mercado presencial, com o intuito de avaliar a implantação da nova legislação nos produtos disponíveis à venda.

Dentre as principais mudanças acarretadas pela nova norma sobre rotulagem de alimentos, destaca-se o novo modelo de tabela nutricional e a indicação do alerta nutricional para açúcar adicionado, gorduras saturadas e sódio.

A respeito da tabela nutricional, esta deve ser elaborada somente com letras pretas e fundo branco, sendo disposta na embalagem próxima à lista de ingredientes, além disso, passa a ser necessária a declaração dos valores de açúcares totais e adicionados, e do valor energético e nutricional por 100mL ou 100g do produto (Brasil, 2022). A Figura 4 representa o modelo de tabela nutricional disponibilizado pela ANVISA na Instrução Normativa nº 75 de 8 de outubro de 2020.

Figura 4 - Modelo para declaração da tabela de informação nutricional.

INFORMAÇÃO NUTRICIONAL			
Porções por embalagem: 000 porções			
Porção: 000 g (medida caseira)			
	100 g	000 g	%VD*
Valor energético (kcal)			
Carboidratos totais (g)			
Açúcares totais (g)			
Açúcares adicionados (g)			
Proteínas (g)			
Gorduras totais (g)			
Gorduras saturadas (g)			
Gorduras trans (g)			
Fibra alimentar (g)			
Sódio (mg)			
*Percentual de valores diários fornecidos pela porção.			

Fonte: Normativa nº 75 de 8 de outubro de 2020.

Sobre o alerta nutricional, este deve ser apresentado, em cores preta ou branca, na parte frontal superior da embalagem, quando o produto apresentar quantidades de açúcares adicionados, sódio e/ou gorduras saturadas iguais ou acima dos limites definidos no anexo XV da Instrução Normativa nº 75, de 2020 (Quadro 1).

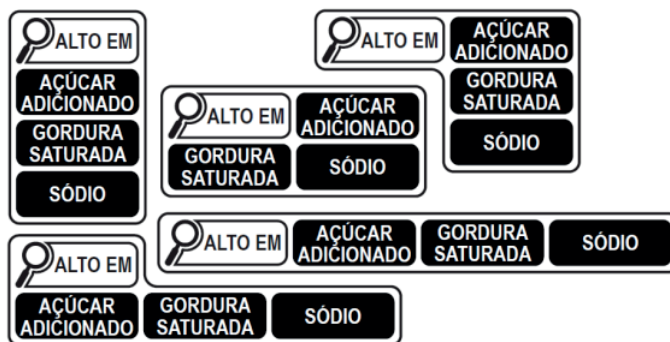
Ainda de acordo com a IN, os produtos que apresentem as condições supracitadas devem, obrigatoriamente, apresentar o alerta nutricional na parte frontal do rótulo, de acordo com os modelos representados na Figura 5.

Quadro 1 - Limites de açúcares adicionados, gorduras saturadas e sódio para fins de declaração da rotulagem nutricional frontal.

Nutrientes	Alimentos sólidos ou semissólidos	Alimentos líquidos
Açúcares adicionados	Quantidade maior ou igual a 15g de açúcares adicionados por 100g do alimento.	Quantidade maior ou igual a 7,5g de açúcares adicionados por 100 ml do alimento.
Gorduras saturadas	Quantidade maior ou igual a 6g de gorduras saturadas por 100g do alimento.	Quantidade maior ou igual a 3g de gorduras saturadas por 100 ml do alimento.
Sódio	Quantidade maior ou igual a 600mg de sódio por 100g do alimento.	Quantidade maior ou igual a 300mg de sódio por 100 ml do alimento.

Fonte: Instrução Normativa nº 75/2020.

Figura 5 - Modelos que devem ser usados em alimentos cujas quantidades de açúcares adicionados, gorduras saturadas e sódio sejam iguais ou superiores aos limites definidos no Anexo XV da Instrução Normativa nº 75/2020.



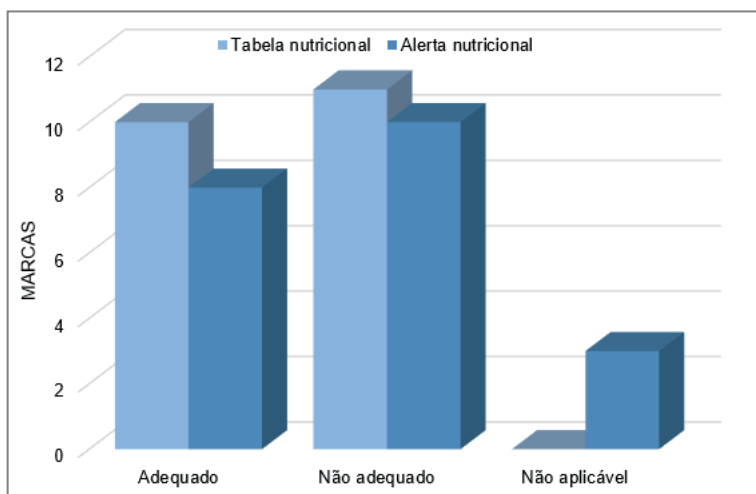
Fonte: Instrução Normativa nº 75/2020.

Doces

Na Figura 6, apresenta-se a adequação das marcas da classe (1) doces analisados em gôndolas de supermercados quanto à conformidade com os requisitos da RDC n.º 429/2020, que regulamenta a rotulagem nutricional, incluindo tanto a tabela nutricional quanto a rotulagem nutricional frontal (FOP). Vale ressaltar que para esta categoria, alguns produtos de mesma marca apresentaram tanto em conformidade com a legislação quanto em não conformidade, porém considerou-se como conforme, para a execução do gráfico, pois a marca já estava buscando se adequar à legislação.

Na pesquisa realizada, foram analisados 21 rótulos, podemos notar que desses, 10 delas já apresentam a tabela nutricional atualizada para os novos padrões exigidos, enquanto 11 delas ainda apresentam o modelo de tabela nutricional antigo. Além disso, 8 delas estavam conforme quanto ao alerta nutricional, 10 não conforme e 3 eram não aplicáveis.

Figura 6 - Adequação das marcas de doces para a nova legislação de rotulagem.



Fonte: Autores.

Esperava-se que a maioria dos produtos doces teriam o alerta de açúcares adicionados, no entanto, as frutas em conservas que utilizam calda doce como forma de conservação não apresentavam a quantidade de açúcares adicionados necessárias para a presença do alerta. Os produtos com alegação de zero açúcar apresentavam em sua maioria o alerta nutricional de gordura saturada. Esse fato é importante para desmistificar que produtos zero açúcar podem apresentar outros nutrientes que em excesso possam ocasionar o desenvolvimento de doenças crônicas não transmissíveis (Jahn *et al.*, 2023). Além disso, produtos de mesma marca apresentaram rótulos em formatos diferentes. Esse fato pode estar relacionado com a permissão da RDC 819/2023 que permitia a utilização de embalagens e rótulos fabricados até outubro de 2023 até dia 09 de outubro de 2024 (Brasil, 2023).

Nas embalagens de geléia de frutas em vidro, observou-se que, conforme o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade (RTIQ), o produto deve ser obtido a partir da cocção de frutas (inteiras, em pedaços, polpas ou sucos) com açúcar em proporções específicas, até atingir consistência gelatinosa (Brasil, 1978). Considerando seu processo tecnológico, seria necessária a inclusão do alerta de rotulagem frontal, contudo, nenhum dos rótulos avaliados apresentou adequação às novas normas. Verificou-se ainda que os rótulos adesivos utilizados nessas embalagens, por serem de fácil substituição, facilitam a adequação

prevista para 2023 em comparação com outros tipos de embalagens. No entanto, apenas uma marca apresentou alerta de nutriente no painel frontal, mas sem a devida tabela nutricional com os valores por porção caseira e por 100 g, prejudicando a clareza das informações ao consumidor.

Em outro produto, constatou-se que o alerta de nutriente estava fora do fundo branco obrigatório, dificultando sua visualização, e a tabela nutricional apresentava formato fora do padrão regulamentar. Embora o fundo branco seja geralmente utilizado para destacar essas informações, 23,8% dos entrevistados relataram não perceber as mudanças na rotulagem. Esse resultado pode ser atribuído tanto à inadequação de alguns rótulos quanto ao fato de que diversas marcas não realizaram a substituição correta das etiquetas e embalagens na época.

Os alimentos doces são os preferidos, devido ao seu sabor doce pela maior parte dos consumidores, diversos trabalhos relatam que a intensidade do doce em alimento influencia na preferência, o que se torna um desafio para a indústria de alimentos em fornecer alimentos saudáveis e que serão aceitos pelo consumidor (Barker *et al.*, 2021; Promsakha na Sakon Nakhon *et al.*, 2023; Faturoti & Ogidi, 2025)). E essa pesquisa demonstra que alertas nutricionais desse parâmetro podem ser indesejados futuramente pelos consumidores nos desenvolvimentos de novos produtos (Figura 6).

O alerta de rotulagem frontal é fundamental para informar o consumidor sobre a qualidade dos alimentos consumidos. Nilsson *et al.* (2023) relatam que, no Brasil, o consumo de alimentos ultraprocessados foi responsável por aproximadamente 57 mil mortes por doenças crônicas não transmissíveis em 2019, representando de 13 a 21% da ingestão energética da população, e associando-se ao desenvolvimento de diabetes, cânceres e doenças cardiovasculares. Contudo, o marketing muitas vezes explora brechas na legislação para tornar esses produtos mais atrativos, afetando a escolha do consumidor e a saúde pública. Além disso, Souza Oliveira *et al.* (2022) demonstraram que o risco de excesso de peso está relacionado ao ambiente alimentar, com maior prevalência em áreas com ampla oferta de alimentos ultraprocessados, bebidas açucaradas e biscoitos recheados. Nesse contexto, políticas fiscais mostram-se relevantes: a tributação sobre bebidas açucaradas reduziu seu consumo e aumentou a conscientização sobre os riscos à saúde em países europeus (Crosbie *et al.*,

2022), enquanto subsídios para alimentos minimamente processados ou para populações em situação de vulnerabilidade socioeconômica ainda não foram implementados de forma significativa (Popkin *et al.*, 2021).

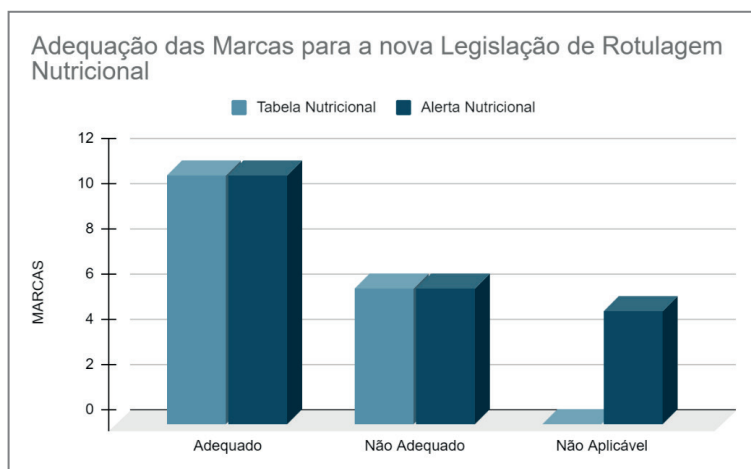
No Brasil, a implementação do alerta de nutriente no painel frontal da embalagem e também a reestruturação da tabela nutricional é considerado um avanço significativo para, assim como as restrições de propagandas infantil de alimentos e bebidas.

Produtos Lácteos

A pesquisa realizada apontou as principais classes de produtos em que a população notou a mudança na rotulagem, dentre essas classes encontram-se os produtos lácteos que, de acordo com a Embrapa (2021) são aqueles que possuem o leite como principal elemento em sua composição.

Na pesquisa realizada, foram analisados 25 rótulos de produtos lácteos, sendo observado os comprimentos da legislação. Por meio da Figura 7, podemos notar que dos 25 rótulos contidos em 17 marcas analisadas, 11 delas já apresentam a tabela nutricional atualizada para os novos padrões exigidos, enquanto 6 delas ainda apresentam o modelo de tabela nutricional antigo.

Figura 7 - Adequação das marcas de produtos lácteos para a nova legislação de rotulagem.

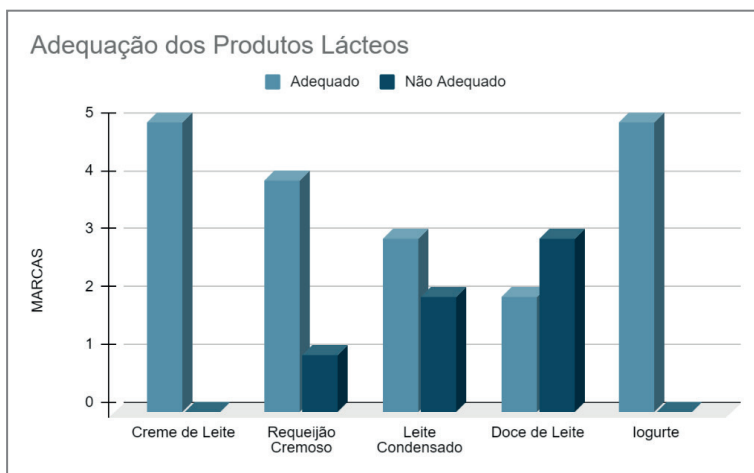


Fonte: Autores.

Podemos notar também, que apenas o alerta nutricional apresentou quantidades de marcas com a consideração de não aplicável, quantificada pela análise dos iogurtes. Pois a declaração da rotulagem nutricional frontal é vedada em alguns casos, dentre esse se enquadra alguns lácteos como os leites fermentados e os queijos desde que não sejam adicionados de ingredientes opcionais que agreguem açúcares adicionados ou valor nutricional significativo de gorduras saturadas ou de sódio ao produto, conforme Anexo IV da Instrução Normativa nº 75, de 8 de outubro de 2020.

Através da análise dos dados pode-se fazer uma observação interessante com relação às marcas, haja vista que em algumas delas foram observados mais de um produto, no qual foi possível notar que a mudança para o novo modelo de rotulagem não ocorreu em todos os produtos da marca, sendo assim a Figura 8 mostra a quantidade de marcas que se adequaram para cada tipo de produto analisado.

Figura 8 - Adequação dos produtos lácteos para a nova legislação de rotulagem.



Fonte: Autores.

Com os dados já apresentados conseguimos ver que as marcas 4 e 5 já se adequaram quando observado o rótulo do creme de leite, mas ainda não se adequou para o rótulo do leite condensado. Podemos notar também que a marca 14 que possui mais de doce de leite analisado, realizou as adequações apenas para um tipo desses doces enquanto os outros dois continuam com a

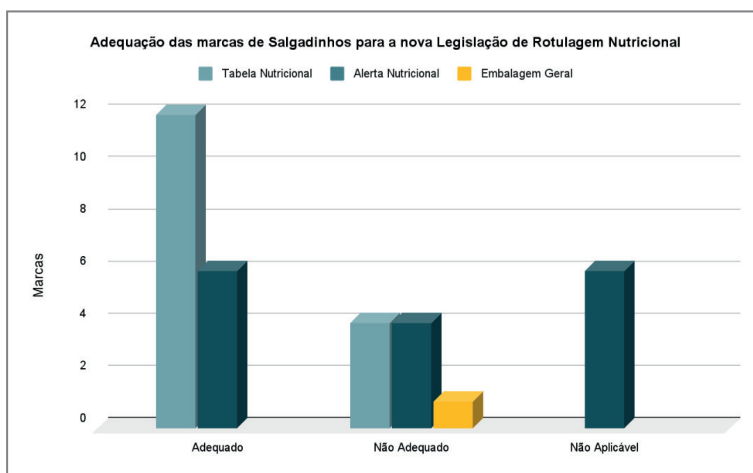
rotulagem antiga. Essa variação nas adequações dentro de uma mesma marca se dá ao fato da permissão do esgotamento dos estoques de embalagens e rótulos, que foram adquiridos pelas empresas até 8 de outubro de 2023, podendo estes, serem utilizados até 9 de outubro de 2024. Sendo assim, nos mercados ainda foi encontrado produtos que não estão com suas rotulagens nutricionais atualizadas, na época.

Salgadinhos

Popularmente consumidos, os Salgadinhos são, de acordo com a RDC Nº 711, de 1º de julho de 2022, produtos obtidos a partir de cereais processados, por meio de laminação, cilindragem, rolamento, inflação, flocação, extrusão, pré cozimento, ou outros tipos de processos tecnológicos, além disso, podem apresentar cobertura e diversas variações de formato e textura. Em sua maioria, os salgadinhos são produzidos à base do griz de milho, um produto composto por gordura vegetal, sal e água, podendo ainda, ser adicionado de corantes e aromatizantes.

Na pesquisa realizada, foram analisados 16 rótulos de salgadinhos (Figura 9), é possível observar que das 16 marcas de salgadinhos verificadas, 12 delas já apresentavam a tabela nutricional atualizada para os novos padrões exigidos, enquanto 4 delas ainda apresentavam o modelo de tabela nutricional antigo.

Figura 9 - Adequação das marcas de salgadinhos para a nova legislação de rotulagem.



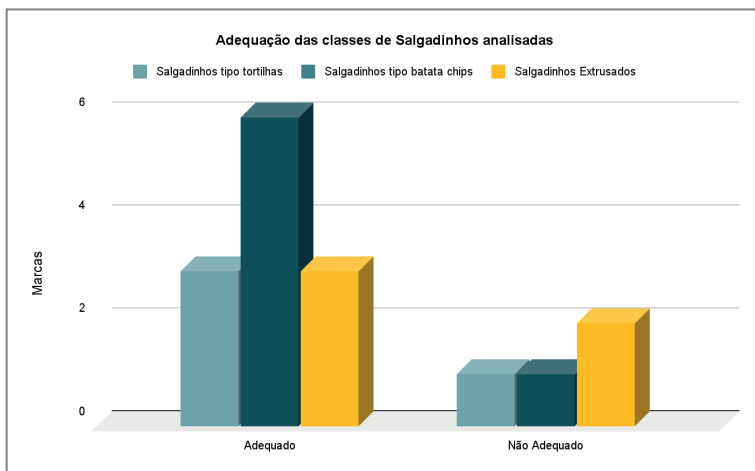
Fonte: Autores.

Ainda pela Figura 9, verifica-se a relação da declaração do alerta nutricional no rótulo frontal, no qual, 6 marcas apresentaram a declaração correta dos alertas necessários de acordo com sua composição. Em contrapartida, as mesmas 4 marcas citadas anteriormente, por não apresentarem a tabela nutricional atualizada, também não apresentaram a declaração do alerta, mesmo se fazendo necessário de acordo com a sua composição.

A declaração do alerta nutricional não se fez necessária nas outras 6 marcas analisadas. Contudo, estas indicaram no rótulo frontal a informação de “Nova Composição”, o que explica a não necessidade da declaração do alerta, uma vez que ao buscarmos informações dos rótulos antigos destes produtos e comparar com os novos, percebeu-se a redução nos valores nutricionais de sódio e gorduras saturadas, os quais foram adequados para valores dentro do limite estipulado pela legislação para a não obrigatoriedade do alerta (Quadro 1).

Quanto às classes de salgadinhos analisadas (salgadinhos tipo tortilhas, salgadinhos tipo batata chips e salgadinhos extrusados), é possível verificar, através da Figura 10, que os salgadinhos tipo batata chips apresentaram maior ocorrência de adequação para a nova rotulagem, enquanto, os salgadinhos extrusados apresentaram maior ocorrência de não adequação.

Figura 10 - Adequação das classes de salgadinhos analisadas.



Fonte: Autores.

CONCLUSÃO

O novo regulamento de rotulagem de alimentos foi percebido pelos consumidores através das informações disponíveis nos rótulos de embalagens, no entanto, o alerta de rotulagem frontal não representa a diminuição do consumo de alimentos com excesso de nutrientes para a maioria dos entrevistados. Porém, esse alerta pode impactar na compra de novos alimentos que potencialmente causam risco à saúde. É possível observar que a maior parte dos alimentos dispostos no mercado estavam adequados à nova legislação, até o cenário da época de implementação, porém é importante verificar o cumprimento total das regras de rotulagem com o objetivo de identificar informações enganosas ou em descumprimento da lei vigente. O alerta de rotulagem frontal é efetivo como política governamental no combate de doenças crônicas não transmissíveis, no entanto, é importante salientar que políticas fiscais devem ser propostas com objetivo incentivar o fornecimento de produtos mais saudáveis à população após a implementação total da legislação para o acompanhamento do seu cumprimento.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução nº 429, de 08 de outubro de 2020. Dispõe sobre a rotulagem nutricional dos alimentos embalados. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, n. 195, ano 2020, p. 106, 08 de out. 2020. Disponível em: <https://antigo.anvisa.gov.br/legislacao#/visualizar/434473>. Acesso: 26 nov. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução nº 819, de 09 de outubro de 2023. Altera a Resolução de Diretoria Colegiada - RDC nº 429, de 8 de outubro de 2020, que dispõe sobre a rotulagem nutricional dos alimentos embalados. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, n. 193, ano 2023, p. 1, 09 de out. 2023. Disponível em: <https://antigo.anvisa.gov.br/legislacao#/visualizar/510956>. Acesso: 01 dez. 2023.

Ahmed, M. M., Nabi, M. H. B., Mia, M. S., Ahmad, I., & Zzaman, W. (2025). Valorization of plant-based agro-waste into sustainable food packaging materials: Current approaches and functional applications. **Applied Food Research**. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.101368>.

Barker, S., Moss, R., & McSweeney, M. B. (2021). Carbonated emotions: Consumers' sensory perception and emotional response to carbonated and still fruit juices. **Food Research International**, 147, 110534. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2021.110534>.

BRASIL, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução normativa nº15 de 4 de maio de 1978, aprova o regulamento sobre a identidade e as características mínimas de qualidade a que devem obedecer às GELEIAS DE FRUTAS. Diário Oficial da União. 1978.

Brasil. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - Anvisa. **Rotulagem nutricional: novas regras entram em vigor em 120 dias**. 09 de junho de 2022. Brasília – DF, 2022.

BRASIL. **Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 711, de 1º de julho de 2022**. Dispõe sobre os requisitos sanitários dos amidos, biscoitos, cereais integrais, cereais processados, farelos, farinhas, farinhas integrais, massas alimentícias e pães. 2022b. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-711-de-1-de-julho-de-2022-413244942>.

BRASIL. Resolução de Diretoria Colegiada nº 819, de 09 de outubro de 2023. **Altera A Brasil, BRASIL, Ministério da Saúde. Resolução de Diretoria Colegiada - RDC Nº 429, de 8 de outubro de 2020, Que Dispõe Sobre A Rotulagem Nutricional dos Alimentos Embalados**. 193-B. ed. Brasília, 09 out. 2023. Seção 1, p. 1-1.

Cheng, J., Gao, R., Zhu, Y., & Lin, Q. (2024). Applications of biodegradable materials in food packaging: A review. **Alexandria Engineering Journal**, 91, 70–83. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.01.080>.

Crosbie, E., Florence, D., Nanthaseang, M., & Godoy, L. (2022). Examining the policy process of sugar-sweetened beverage taxation in Ireland. **Health Policy**, 126(8), 738–743. <https://doi.org/10.1016/J.HEALTHPOL.2022.06.002>.

EMBRAPA. TORREZAN, R. Tecnologia de Alimentos: Embrapa Agroindústria de Alimentos. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Brasília, 2021.

Faturoti, A. O. & Ogidi, C. O. (2025) Inclusion of antimicrobial and antioxidant spices into milk candy towards enhancement of nutrient contents and bio-functional activities. **Heliyon**, 11(3), e42249. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42249>.

Geraldo, M.L., Carvalho, N.B., Elias, L.A. da S., Campos, J.M., Sousa, K.R. de O.V. & Silva, V.M. da. (2023) Avaliação do impacto da nova rotulagem na indústria de alimentos. **Brazilian Journal of Development**, 9(6), 19012-19031. <https://doi.org/10.34117/bjdv9n6-021>.

Gillic, A. McDonnell, Kennedy, A., & Kearney, J. (2025). Food literacy in preschool-aged children - influencing factors, programmes, and outcomes: A scoping review. **Eating Behaviors**, 59, 102033. <https://doi.org/10.1016/j.eatbeh.2025.102033>.

Gonzalez, W., Sari, E. K., Sustrina, A., Félix, Z., Ernanda, N., Dibyareswatu, A. D. & Taillie, L. S. (2025) Indonesian Adolescents' Perceptions of Front-of-Package Labels on Packaged Food and Drinks. **Current Developments in Nutrition**, 9(4), 104586. <https://doi.org/10.1016/j.cdnut.2025.104586>.

IN nº 75. (2020). Instrução Normativa – IN nº 75. Ministério da Saúde – MS. Agência Nacional de Vigilância Sanitária.

INFOMONEY. **Classes D e E continuarão a ser mais da metade da população até 2024, projeta consultoria**. 2022. Disponível em: <https://www.infomoney.com.br/minhas-financas/classes-d-e-e-continuarao-a-ser-mais-da-metade-da-populacao-ate-2024-projeta-consultoria/>. Acesso em: 26/11/2023.

Jahn, S., Elshiewy, O., Boztug, Y., & Döring, T. (2023). Truthful yet misleading: Consumer response to 'low fat' food with high sugar content. **Food Quality and Preference**, 109, 104900. <https://doi.org/10.1016/J.FOODQUAL.2023.104900>.

Lemmon, B., Musicus, A. A., Grummon, A. H., Hall, M. G., Roberto, C. A., Greenthal, E., & Falbe, J. (2025). "High-In" front-of-package labeling of foods high in added sugars, sodium, and saturated fat: A randomized experiment. **Appetite**, 2016, 108308. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2025.108308>.

Malloy-Weir, L., & Cooper, M. (2017). Health literacy, literacy, numeracy and nutrition label understanding and use: A scoping review of the literature. **Journal of Human Nutrition and Dietetics**, 30, 309–325. <https://doi.org/10.1111/jhn.12428>.

Nilson, E. A. F., Ferrari, G., Louzada, M. L. C., Levy, R. B., Monteiro, C. A., & Rezende, L. F. M. (2023). Premature Deaths Attributable to the Consumption of Ultraprocessed Foods in Brazil. **American Journal of Preventive Medicine**, 64(1), 129–136. <https://doi.org/10.1016/J.AMEPRE.2022.08.013>.

Organização Mundial da Saúde (2019). Princípios orientadores e manual-quadro para rotulagem na frente da embalagem para promoção de uma dieta saudável. Disponível em: https://cdn.who.int/media/docs/default-source/healthy-diet/guidingprinciples-labelling-promoting-healthydiet.pdf?sfvrsn=65e3a8c1_7&download=true.

Persoskie, A., Hennessy, E., & Nelson, W. L. (2017). Peer reviewed: US consumers' understanding of nutrition labels in 2013: The importance of health literacy. **Preventing chronic disease**, 14. <https://doi.org/10.5888/pcd14.170066>.

Popkin, B. M., Barquera, S., Corvalan, C., Hofman, K. J., Monteiro, C., Ng, S. W., Swart, E. C., & Taillie, L. S. (2021). Towards unified and impactful policies to reduce ultra-processed food consumption and promote healthier eating. **The Lancet Diabetes & Endocrinology**, 9(7), 462–470. [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(21\)00078-4](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(21)00078-4).

Promsakha na Sakon Nakhon, P., Aimkaew, M., Tongsai, S., & Leesuksawat, W. (2023). Low-sugar egg-based dessert (sweet egg yolk drops): Characterization, consumer acceptance and driver of liking. **Heliyon**, 9(11), e21937. <https://doi.org/10.1016/J.HELİYON.2023.E21937>.

Sousa, I. C., Mucinhato, R. M. D., Prates, C. B., Zanin, L. M., Cunha, D. T., Capriles, V. D., Rosso, V. V., & Stedefeldt, E. (2023). Do Brazilian consumers intend to use food labels to make healthy food choices? An assessment before the front-of-package labelling policy. **Food Research International**, 172. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113107>.

Souza Oliveira, J., Cristina Egito de Menezes, R., Almendra, R., Israel Cabral de Lira, P., Barbosa de Aquino, N., Paula de Souza, N., & Santana, P. (2022). Unhealthy food environments that promote overweight and food insecurity in a Brazilian metropolitan area: A case of a syndemic? **Food Policy**, 112, 102375. <https://doi.org/10.1016/J.FOODPOL.2022.102375>.

Vidgen, H. A., & Gallegos, D. (2014). Defining food literacy and its components. **Appetite**, 76, 50–59. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.01.010>.

POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN FOOD: PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES, CARCINOGENIC MECHANISMS, AND REGULATORY FRAMEWORKS

Ana Paula Zapelini de Melo
Federal University of Santa Catarina (UFSC)

Rodrigo Barcellos Hoff
Ministry of Agriculture and Livestock
Advanced Laboratory Section of Santa Catarina

Luciano Molognoni
Ministry of Agriculture and Livestock
Advanced Laboratory Section of Santa Catarina
Santa Catarina Institute of Agricultural Health

Thais de Oliveira
Ministry of Agriculture and Livestock
Advanced Laboratory Section of Santa Catarina
Santa Catarina Institute of Agricultural Health

Heitor Daguer
Ministry of Agriculture and Livestock
Advanced Laboratory Section of Santa Catarina

Pedro Luiz Manique Barreto
Federal University of Santa Catarina (UFSC)

ABSTRACT

Food safety aspects related to compounds that are potentially carcinogenic to humans are of considerable concern to public health. Every year, millions of people worldwide are affected by malignant neoplasms. The daily intake of foods contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) has been postulated as a risk factor for cancer development. PAH constitutes a large class of organic compounds formed by two or more fused aromatic rings composed of carbon and hydrogen. They can be introduced into food through natural or anthropogenic sources, resulting from environmental contamination or industrial processing techniques and culinary practices. In this comprehensive review, presented in two parts, the physicochemical and toxicological aspects of PAH are revisited in the context of food science, highlighting the main processes with the potential of introducing these contaminants into the food chain. The principal mechanisms of carcinogenicity and metabolic conversion of PAH in the human body are also discussed, as well as the regulatory frameworks established by food safety authorities.

Keywords: Carcinogenic; food contamination; food safety; PAH.

INTRODUCTION

The association between cancer and environmental causes was first highlighted in the 18th century by the British surgeon Percivall Pott. In this pioneering study, despite the fact that the compounds responsible for carcinogenicity were not identified, Pott related the constant exposure of workers to coal soot with the appearance of genital skin lesions, which, if not treated, would lead to scrotal carcinoma (Pott, 1775). Since then, the evidence that environmental factors play a causal role in the development of tumors has motivated trials to assess the carcinogenic potential of new compounds. In 1977, Japanese pathologists, when applying coal tar to the ear of rabbits, induced for the first-time carcinomas in animals (Yamagiwa; Ichikawa, 1977). Subsequent experiments revealed that the chemical constituents present in coal tar were polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), which alone caused malignant neoplasms in animals (Kennaway; Hieger, 1930; Cook *et al.*, 1933).

PAH are a class of hundreds of potentially toxic, environmentally persistent organic compounds that often occur as complex mixtures composed of different congeners (IARC, 2010; Binello *et al.*, 2020). They originate from natural or anthropogenic sources (Singh *et al.*, 2016a; Wenzl; Zelinkova, 2018). Natural sources include spontaneous forest fires, diagenesis, oil seepage, and volcanic eruptions, while anthropogenic sources include fossil fuel combustion, incineration, crude oil spills, cigarette smoke, as well as industrial processing and culinary practices such as drying, smoking, frying, roasting, and grilling food (Idowu *et al.*, 2019; Singh *et al.*, 2020). Since its discovery, the occurrence of PAH in food has been extensively investigated and monitored by leading food safety institutions, which have recognized PAH as a source of global concern (IPCS, 1998; WHO, 2006; EFSA, 2008; EPA, 2009, 2014; IARC, 2010, 2015).

A substantial source of human exposure to PAH is attributed to the consumption of contaminated food (88 – 98%), especially for non-smokers and non-occupationally exposed individuals. Daily intake of food contaminated with PAH has been proposed as one of the causal sources of cancer in humans (IARC, 2015; Singh *et al.*, 2020). Global projections indicate that cancer will be one of the main causes of death in the 21st century. The World Health Organization estimates that in the last two decades 10 million people have died from

malignant neoplasms in the world (WHO, 2025). Among the leading causes of cancer-related deaths are stomach and colorectal cancer (WHO, 2025). Due to the demonstrated carcinogenic potential of PAH, the need for their monitoring in food is evident.

From this perspective, this comprehensive review, structured in two complementary parts, highlights the impact of consuming foods contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and the importance of their monitoring to ensure consumer safety.

First part presents the theoretical and regulatory foundations, addressing the main physicochemical properties of PAH, their metabolic conversion mechanisms, and carcinogenic potential, as well as the guidelines and maximum limits established by international food safety agencies. This section provides the conceptual basis necessary to understand the dynamics of these contaminants throughout the food chain.

Second part, *"Strategies to reduce polycyclic aromatic hydrocarbons in food: industrial and culinary approaches"*, focuses on applied aspects, discussing the main sources and formation pathways of PAH during industrial processing and culinary practices, as well as the scientific gaps related to their occurrence and dietary exposure risks. Technological and domestic strategies to mitigate food contamination are also presented, with emphasis on safe cooking practices and emerging technologies aimed at reducing carcinogenic compounds.

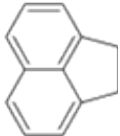
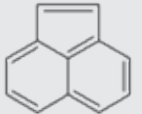
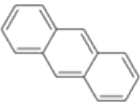
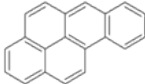
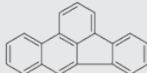
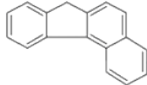
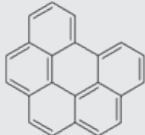
Together, the two parts offer a comprehensive framework for understanding and reflecting on the main issues related to PAH contamination in food, including: What are PAH? What are their potential effects on human health? Which international regulations govern their control? Is there a safe daily intake level? And finally, which cooking methods or technological strategies can be adopted to minimize their formation and, consequently, the cancer risk associated with their ingestion?

PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF PAH

The knowledge of the physicochemical properties of PAH allows a better understanding of their transport, distribution, absorption, and persistence profile in biological systems and food matrices. PAH are formed by two or more

fused aromatic rings that contain carbon and hydrogen in their structure. Some PAH may have other atoms or molecules attached to carbons; these are called substituted PAH. Substituents in the aromatic structure can include alkanes, alkenes, hydroxyl, oxygen, nitrogen, thiol, amines, chlorine, cyano, or sulfur (Sparling, 2016; Gachanja; Maritim, 2018). The main food toxicology-relevant PAH prioritized by the European Union (EU) and United States Environmental Protection Agency (US EPA), their respective acronyms, chemical structures, fundamental physicochemical properties, and classification for carcinogenicity are presented in Table 1.

Table 1 - Main polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) from the perspective of food toxicology prioritized by the European Union (EU) and the United States Environmental Protection Agency (US EPA), their respective acronyms, chemical structures, fundamental physicochemical properties and carcinogenicity classification by the International Agency for Research on Cancer (IARC).

PAH name (acronym)	Prioritized by regulatory agency	Chemical structure	Molecular formula	CAS number	Molar mass (g mol ⁻¹)	Solubility in water at 25 oC (mg L ⁻¹) ^a	Vapor pressure at 25 oC (Pa) ^b	Octanol/water partition coefficient (log K_{ow}) ^c	IARC group ^d
Acenaphthene (Ace)	US EPA		C ₁₂ H ₁₀	83-32-9	154.21	3.93	0.50	3.92	3
Acenaphthylene (Acn)	US EPA		C ₁₂ H ₈	208-96-8	152.19	3.93	3.86	4.00	*
Anthracene (Ant)	US EPA		C ₁₄ H ₁₀	120-12-7	178.23	0.015	3.4 × 10 ⁻³	4.54	3
Benzo[a]anthracene (B[a]A)	US EPA EU		C ₁₈ H ₁₂	56-55-3	228.30	0.009	1.5 × 10 ⁻⁴	5.86	2B
Benzo[a]pyrene (B[a]P)	US EPA EU		C ₂₀ H ₁₂	50-32-8	252.30	0.0038	0.4 × 10 ⁻⁶	6.04	1
Benzo[b]fluoranthene (B[b]F)	US EPA EU		C ₂₀ H ₁₂	207-08-9	252.30	0.002	6.7 × 10 ⁻⁵	5.80	2B
Benzo[c]fluorene (B[c]F)	EU		C ₁₇ H ₁₂	205-12-9	216.28	0.103	6.3 × 10 ⁻⁴	5.19	3
Benzo[ghi]perylene (B[ghi]P)	US EPA EU		C ₂₂ H ₁₂	191-24-2	276.30	3.93	6.0 × 10 ⁻⁸	6.50	3

PAH name (acronym)	Prioritized by regulatory agency	Chemical structure	Molecular formula	CAS number	Molar mass (g mol ⁻¹)	Solubility in water at 25 oC (mg L ⁻¹) ^a	Vapor pressure at 25 oC (Pa) ^b	Octanol/water partition coefficient (log K_{ow}) ^c	IARC group ^d
Benzo[<i>j</i>]fluoranthene (B[<i>j</i>]F)	EU		C ₂₀ H ₁₂	205-82-3	226.30	2.5 × 10 ⁻³	2.0 × 10 ⁻⁶	6.11	2B
Benzo[<i>k</i>]fluoranthene (B[<i>k</i>]F)	US EPA EU		C ₂₀ H ₁₂	207-08-9	252.30	8.0 × 10 ⁻⁴	5.2 × 10 ⁻⁸	6.00	2B
Chrysene (Chry)	US EPA EU		C ₁₈ H ₁₂	218-01-9	228.30	0.002	1.0 × 10 ⁻⁶	5.86	2B
Cyclopenta[<i>c,d</i>]pyrene (CP[<i>cd</i>]P)	EU		C ₁₈ H ₁₀	27208-37-3	226.30	0.0286	7.2 × 10 ⁻³	5.77	2A
Dibenzo[<i>a,h</i>]anthracene (DB[<i>a,h</i>]A)	US EPA EU		C ₂₂ H ₁₄	53-70-3	278.30	31.5	2.8 × 10 ⁻⁹	6.75	2A
Dibenzo[<i>a,i</i>]pyrene (DB[<i>a,i</i>]P)	EU		C ₂₄ H ₁₄	189-55-9	302.40	5.5 × 10 ⁻⁴	3.2 × 10 ⁻¹⁰	7.30	2B
Dibenzo[<i>a,e</i>]pyrene (DB[<i>a,e</i>]P)	EU		C ₂₄ H ₁₄	192-65-4	302.40	1.6 × 10 ⁻⁴	5.2 × 10 ⁻¹¹	7.28	3
Dibenzo[<i>a,h</i>]pyrene (DB[<i>a,h</i>]P)	EU		C ₂₄ H ₁₄	189-64-0	302.40	3.5 × 10 ⁻⁵	6.4 × 10 ⁻¹²	7.28	2B
Dibenzo[<i>a,i</i>]pyrene (DB[<i>a,i</i>]P)	EU		C ₂₄ H ₁₄	191-30-0	302.40	3.6 × 10 ⁻³	4.8 × 10 ⁻¹⁰	7.71	2A
Phenanthrene (Fen)	US EPA		C ₁₄ H ₁₀	85-01-8	178.23	1.15	9.1 × 10 ⁻²	4.46	3
Fluoranthene (Flu)	US EPA		C ₁₆ H ₁₀	206-44-0	202.25	0.25	1.2 × 10 ⁻³	5.22	3
Fluorene (Fl)	US EPA		C ₁₃ H ₁₀	86-73-7	166.22	1.98	0.43	4.18	3
Indeno[1,2,3- <i>cd</i>]pyrene (I[<i>cd</i>]P)	US EPA EU		C ₂₂ H ₁₂	193-39-5	276.30	5.0 × 10 ⁻⁴	1.0 × 10 ⁻¹⁰	6.50	2B
Naphthalene (Naph)	US EPA		C ₁₀ H ₈	91-20-3	128.17	30.0	11.9	3.37	2B
Pyrene (Pyr)	US EPA		C ₁₆ H ₁₀	129-00-0	202.25	0.132	6.0 × 10 ⁻⁴	5.18	3
5-Methylchrysene (5-MetCri)	EU		C ₁₉ H ₁₄	3697-24-3	242.30	0.0133	7.2 × 10 ⁻⁵	6.07	2B

EU: European Union. US EPA: United States Environmental Protection Agency. a: (IARC, 2010; Sun *et al.*, 2021). b: (IPCS, 1998; Sun *et al.*, 2021). c: (IPCS, 1998; IARC, 2012; Shen, 2016). d: Carcinogenicity classification by IARC (International Agency for Research on Cancer (IARC, 2010, 2015). Group 1: Carcinogenic for humans. Group 2A: Probably carcinogenic for humans. Group 2B: Possible carcinogenic for humans. Group 3: Unclassifiable as to its carcinogenicity to humans. *Not classified.

PAH can be classified as light or heavy according to their molecular mass and number of aromatic rings. Although the difference range between molar masses is relatively narrow (approximately 120 to 300 g mol⁻¹) (Meador, 2008), the heterogeneity in size and structure may represent important variations in their physicochemical and toxicological properties (Larcher *et al.*, 2014). Light PAH are those with low molar masses (< 202 g mol⁻¹), which have two or three aromatic rings in their structure, such as anthracene and naphthalene. Heavy ones, generally of high stability and toxicity, are those with high molar masses (> 202 g mol⁻¹), with four or more aromatic rings, such as benzo[a]pyrene and dibenzo[a,l]pyrene (Purcaro *et al.*, 2013; Binello *et al.*, 2020).

PAH can occur in liquid, gas, sediments, and biological tissues, in different concentrations, depending on their individual characteristics (Meador, 2008). As they are non-polar molecules, highly lipophilic, they can easily accumulate in lipid tissues of living organisms (Bansal; Kim, 2015).

Transport, absorption, and distribution of PAH are determined by their solubility and volatility (IPCS, 1998). Hydrophobicity increases as molar mass, ring structure, and degree of substitution also increase (Sparling, 2016). Hydrocarbons with four or more aromatic rings have low water solubility, indicating a high potential for bioaccumulation (IPCS, 1998). Therefore, in aqueous environments, PAH are generally bound to humic acid, or dissolved in hydrophobic elements present in water, sediment, or soil (EFSA, 2008). Regarding volatility, vapor pressure is inversely proportional to the number of aromatic rings. The low volatility of most of these compounds highlights their ability to undergo adsorption on particulate materials (EFSA, 2008; IARC, 2010). In the atmosphere, molecules with five or more aromatic rings preferentially associate with small-sized particles (2.5 µm) such as soot. PAH with four aromatic rings can be found in the particulate and gaseous phases, while PAH with two or three aromatic rings are found predominantly in the gaseous phase (Munyeza *et al.*, 2019; Wu *et al.*, 2020).

The persistence of PAH in the environment is also related to their molecular structure. The degradation speed decreases as the number of aromatic rings increases (Beiras, 2018). In addition, alternating single and double bond resonance provides PAH with high molecular stability (Speight, 2020a), and therefore persistence in biological and food matrices.

PAH CARCINOGENICITY MECHANISM

PAH present structural indentations known as *bay* or *fjord* regions display enhanced mutagenic and carcinogenic potential. The *bay* configuration, typical of compounds such as benzo[a]pyrene, contains a concave arrangement of four carbon atoms, whereas the *fjord* configuration, exemplified by dibenzo[a,l]pyrene, involves five carbon atoms forming a deeper molecular recess. These conformational differences influence how metabolic enzymes interact with PAH, leading to variations in their biological reactivity (De Melo *et al.*, 2022). These molecular indentations allow PAH molecules, after metabolization, to form adducts with DNA, RNA, and/or proteins, promoting carcinogenesis (Ifegwu; Anyakora, 2015; Sparling, 2016; Murray; Penning, 2018).

Through a complex set of chemical and enzymatic reactions, PAH can enter the body through three metabolic pathways. They can reach the circulatory system through the respiratory route, through the inhalation of aerosols; dermally, by direct contact with the epidermis; and by the main route of absorption, orally, through the gastrointestinal tract, through the ingestion of water or food contaminated with PAH (De Melo *et al.*, 2022).

Once absorbed, PAHs undergo a series of biochemical transformations that depend on the route of exposure. The unmetabolized, or *parental*, PAH compounds do not directly damage cells. Toxicity arises after metabolic conversion through detoxification mechanisms that transform hydrophobic molecules into more polar

derivatives suitable for excretion (EFSA, 2008; Idowu *et al.*, 2019). Paradoxically, these same metabolic processes can produce highly reactive intermediates, including radical cations, dihydrodiol epoxides, and ortho-quinones, which are capable of covalently binding to macromolecules and inducing genotoxic and mutagenic alterations (IARC, 2010; De Melo *et al.*, 2022).

The biotransformation of PAH generally proceeds via three enzymatic systems: (I) oxidation catalyzed by peroxidases leading to radical cation formation; (II) hydration through epoxide hydrolases producing dihydrodiol and subsequent epoxide derivatives; and (III) reduction by aldo-keto reductases yielding reactive ortho-quinones. A simplified pathway illustrating the conversion of a PAH molecule into carcinogenic metabolites is shown in our previous study (De Melo *et al.*, 2022). Each pathway produces metabolites with distinct stability and reactivity, contributing collectively to the genotoxic potential of PAH. These intermediates can form covalent adducts with nucleophilic sites in DNA, RNA, and proteins, causing irreversible cellular damage and mutation (IARC, 2010, 2012).

Despite extensive research, toxicokinetic data for complex PAH mixtures remain limited. The coexistence of multiple congeners, diverse exposure routes, and variable metabolic capacities may complicate risk assessment (Gachanja; Maritim, 2018). Consequently, most studies rely on B[a]P as a reference compound, given its well-established carcinogenic potential and strong correlation with other PAH. In mammalian systems, the activation of B[a]P begins with oxidation catalyzed by cytochrome P450 isoenzymes (CYP1A1, CYP1A2, CYP1B1), predominantly in hepatic tissues, generating reactive metabolites that can interact with nucleic acids (IARC, 2010). Through the peroxidase pathway, electron abstraction leads to the formation of radical cations that react with DNA to produce depurinated adducts, resulting in the loss of adenine and guanine bases and subsequent mutations (De Melo *et al.*, 2022).

Alternatively, via epoxide hydrolase, B[a]P is converted into benzo[a]pyrene-7,8-trans-dihydrodiol, which may undergo further oxidation to form benzo[a]pyrene-7,8-dihydrodiol-9,10-epoxide, a metabolite recognized for its potent tumor-initiating activity in mammals (IARC, 2010). In another route, catalyzed by aldo-keto reductases, the dihydrodiol intermediate can be transformed into catechols and subsequently oxidized to ortho-quinones (benzo[a]

pyrene-7,8-dione), generating reactive oxygen species that amplify oxidative stress (IARC, 2012; Ifegwu; Anyakora, 2016).

Cumulative experimental and epidemiological evidence supports the carcinogenicity of B[a]P and mixtures containing this compound, which the International Agency for Research on Cancer (IARC) has classified as carcinogenic to humans (Group 1) (IARC, 2012). Other PAH congeners have been categorized with varying levels of evidence: probably carcinogenic (Group 2A), possibly carcinogenic (Group 2B), or not classifiable as to their carcinogenicity to humans (Group 3) (IARC, 2010, 2012). Beyond their carcinogenic effects, exposure to PAH has been associated with multiple systemic disturbances, including endocrine disruption, reproductive and developmental toxicity, pulmonary and metabolic impairments, immunotoxicity, and teratogenic outcomes (Wu *et al.*, 2010; Bolden *et al.*, 2017; Chen *et al.*, 2018; Drwal *et al.*, 2019; Roslund *et al.*, 2019; Patel *et al.*, 2020; Sun *et al.*, 2020).

REGULATORY FRAMEWORK

The toxicological relevance of PAH has long attracted the attention of environmental and food safety authorities worldwide. Several international and national organizations, including the IARC, the International Programme on Chemical Safety (IPCS), the United States Environmental Protection Agency (US EPA), the Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA), the Scientific Committee on Food (SCF), and the European Food Safety Authority (EFSA), have contributed to establishing frameworks for assessing their risks and regulating their presence in food.

In the early 1970s, the US EPA identified sixteen PAH compounds as priority environmental pollutants, based on their environmental persistence, frequency of occurrence, toxicological evidence, and potential for human exposure. This group, commonly referred to as the “16 US EPA PAH”, became a reference set for environmental monitoring programs and remains widely used as an indicator of hydrocarbon contamination (EPA, 2014).

Subsequent assessments by the ATSDR ranked hundreds of chemical substances according to their public health relevance. In that evaluation, B[a]P

occupied one of the highest positions (8th overall), while the broader PAH group was ranked immediately below, underscoring their toxicological significance and prevalence in environmental matrices (ATSDR, 2019).

Parallel efforts in Europe advanced the classification of PAHs in the food safety context. Committees such as the SCF, JECFA, and IPCS evaluated dozens of PAH congeners, identifying fifteen with consistent evidence of genotoxicity and carcinogenicity in animal studies, with the exception of B[ghi]P. Building on these findings, and considering the potential link between some PAH and malignant neoplasms observed in experimental assays, JECFA later recommended the inclusion of B[c]F as an additional compound of concern. The European Union subsequently adopted a monitoring list known as the “15 + 1 EU PAH”, incorporating the fifteen compounds prioritized by the SCF along with B[c]F (WHO, 2006; EU, 2005; EFSA, 2008).

In 2008, responding to new data on the occurrence of PAH in foods, the European Commission requested that EFSA re-examine this classification. The re-evaluation encompassed approximately 10,000 samples across various food categories, including oils, cereals, fruits, nuts, seafood, and meat products. Although benzo[a]pyrene had historically been regarded as a reliable marker of PAH contamination due to its strong carcinogenic profile, EFSA’s review revealed that many samples contained other genotoxic PAH even in the absence of detectable B[a]P. Consequently, the agency concluded that B[a]P alone was not a suitable indicator for assessing overall PAH contamination in food matrices (EFSA, 2008).

Following these recommendations, the European Union Regulation (EU) 835/2011 established maximum allowable concentrations for both B[a]P and PAH4 in various food categories. In 2023, this framework was superseded by Regulation (EU) 2023/915, which repealed Regulation 835/2011 and consolidated multiple previous acts establishing maximum levels for food contaminants. The updated regulation maintained the reference limits for PAH while expanding and harmonizing contaminant provisions under a unified legislative instrument (EU, 2023). For instance, the regulation establishes maximum concentrations of $2.0 \mu\text{g kg}^{-1}$ B[a]P and $12.0 \mu\text{g kg}^{-1}$ for the sum of PAH4 in smoked meat and smoked meat products. Several other food categories, including fishery products, cocoa derivatives, dried herbs, fats, oils, cereal-based foods, and many

others, are also covered, reflecting the comprehensive scope of the European framework for PAH control.

Despite the high risk attributed to the consumption of food contaminated with PAH and the known adverse effects on human health, several countries still do not have their own regulatory limits and often apply the European limits for monitoring PAH in food. However, maximum concentrations of B[a]P in drinking water have been established in some countries, such as the United States ($0.2 \mu\text{g L}^{-1}$) (EPA, 2009), Canada ($0.04 \mu\text{g L}^{-1}$) (HC, 2023) and Australia ($0.01 \mu\text{g L}^{-1}$) (NHMRC, 2011). Brazilian legislation is limited, as it only contemplates the monitoring of B[a]P in bagasse and/or olive seed oil ($2 \mu\text{g kg}^{-1}$) (BRASIL, 2022a), smoke flavoring ($0.03 \mu\text{g kg}^{-1}$) (BRASIL, 2022b), and bottled water and ice ($0.7 \mu\text{g L}^{-1}$) (BRASIL, 2022c), bivalve mollusks ($5 \mu\text{g kg}^{-1}$ for B[a]P and $5 \mu\text{g kg}^{-1}$ for PAH4) (BRASIL, 2023).

CONCLUSION

Understanding the physicochemical properties, metabolic pathways, and regulatory aspects of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) is essential for assessing their toxicological behavior and implications for human health. The environmental persistence, lipophilicity, and bioaccumulative potential of these compounds contribute to their widespread distribution throughout the food chain. Furthermore, their metabolic conversion into reactive intermediates capable of inducing genotoxic and carcinogenic effects reinforces the need for continuous monitoring and stringent regulatory control. Although several international agencies, such as EFSA, IARC, and the US EPA, have established classification systems and maximum allowable levels for PAH in food, relevant gaps still remain in the global harmonization of these parameters and in the definition of safe dietary exposure thresholds.

This first part of the review presented an integrated overview of the chemical nature, toxicological mechanisms, and regulatory frameworks surrounding PAH from a food safety perspective. These concepts provide the scientific foundation needed to understand the dynamic behavior of these contaminants within food systems and their implications for public health.

Second part will address applied aspects related to the formation and transfer of PAH in food, encompassing the main pathways of their generation during industrial processing and culinary practices, as well as the scientific gaps associated with their occurrence and dietary exposure. Technological and domestic strategies aimed at mitigating contamination will also be discussed, focusing on reducing carcinogenic risks and promoting safer food for consumers.

REFERENCES

- ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2019). **The ATSDR 2019 Substance Priority List**. U.S. Department of Health and Human Services, 2019. <https://www.atsdr.cdc.gov/programs/substance-priority-list.html>.
- Bansal, V., Kim, K.H., 2015. Review of PAH contamination in food products and their health hazards. **Environ. Int.** 84, 26–38, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.06.016>.
- Beiras, R. Hydrocarbons and Oil Spills, in: **Marine Pollution - Sources, Fate and Effects of Pollutants in Coastal Ecosystems**. Elsevier Inc., Amsterdam, pp. 89–106, 2018. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813736-9.00007-6>.
- Binello, A. *et al.* S. Polycyclic aromatic hydrocarbons in coffee samples: Enquiry into processes and analytical methods. **Food Chem.** 128631, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128631>.
- Bolden, A.L., *et al.* Polycyclic aromatic hydrocarbons and female reproductive health: A scoping review. **Reprod. Toxicol.** 73, 61–74, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2017.07.012>.
- BRASIL. Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 274, de 22 de setembro de 2005. Aprova o regulamento técnico para águas envasadas e gelo. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA)**, 2005.
- BRASIL. Instrução Normativa – IN nº 160, de 1º de julho de 2022. Estabelece os limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA)**, 2022a.
- BRASIL. Resolução – RDC nº 725, de 1º de julho de 2022. Dispõe sobre os aditivos alimentares aromatizantes. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA)**, 2022b.
- BRASIL. Resolução – RDC nº 717, de 1º de julho de 2022. Dispõe sobre os requisitos sanitários das águas envasadas e do gelo para consumo humano. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA)**, 2022c.
- BRASIL. Portaria SDA/MAPA nº 884, de 6 de setembro de 2023. Aprova o Programa Nacional de Moluscos Bivalves Seguros (MoluBiS), que estabelece o controle higiênico-sanitário, monitoramento e fiscalização dos moluscos bivalves destinados ao consumo humano ou animal. **Ministério da Agricultura e Pecuária / Secretaria de Defesa Agropecuária**, 2023.

Chen, L., *et al.* Association of PAH and BTEX exposure with lung function and respiratory symptoms among a nonoccupational population near the coal chemical industry in Northern China. **Environ. Int.** 120, 480–488, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.08.004>.

Cook, J.W., Hewett, C.L., Hieger, I. Isolation of a Cancer-producing Hydrocarbon from Coal Tar. Parts I, II and III. **J. Chem. Soc.** 1, 395–405, 1933.

De Melo *et al.* Disasters with oil spills in the oceans: Impacts on food safety and analytical control methods, **Food. Res. Int.** 157, 111366, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111366>.

Drwal, E., *et al.* Review: Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) - Action on placental function and health risks in future life of newborns. **Toxicology** 411, 133–142, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2018.10.003>.

EFSA. European Food Safety Authority. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Food Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. **Eur. Food Saf. Auth. J.** 724, 1–114, 2008. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2008.724>.

EPA, United States Environmental Protection Agency. **EPA's Priority Pollutants List**, 1–2, 2014. <https://www.epa.gov/wqc/national-recommended-water-quality-criteria>.

Gachanja, A.N., Maritim, P.K. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons - Determination, in: **Encyclopedia of Analytical Science**. Elsevier Inc., pp. 225–234, 2018. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.14107-1>.

HC, Health Canada. Guidelines for Canadian Drinking Water Quality: **Guideline Technical Document - Benzo[a]pyrene**, 2019. <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/publications/healthy-living/guidelines-canadian-drinking-water-quality-guideline-technical-document-benzo-pyrene.html>.

IARC, International Agency for Research on Cancer. Some Non-heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Some Some Related Exposures., 92nd ed, **International Agency for Research on Cancer Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans**. WHO Press, Lyon, 2010. <https://doi.org/10.1136/jcp.48.7.691-a>.

IARC, International Agency for Research on Cancer. Chemical agents and related occupations., 100 ed. **International Agency for Research on Cancer Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans**. WHO Press, Lyon, 2012.

IARC, International Agency for Research on Cancer. Red Meat and Processed Meat., 114th ed, **International Agency for Research on Cancer Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans**. WHO Press, Lyon, 2015. <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.86.012307>.

Idowu, O. *et al.* Beyond the obvious: Environmental health implications of polar polycyclic aromatic hydrocarbons. **Environ. Int.** 123, 543–557, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.12.051>.

Ifegwu, O.C., Anyakora, C. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Part I. Exposure, in: Makowski, G.S. (Ed.), **Advances in Clinical Chemistry**. Academic Press, New York, pp. 277–304, 2015. <https://doi.org/10.1016/bs.acc.2015.08.001>.

IPCS, International Programme on Chemical Safety. Selected non-heterocyclic -Polycyclic aromatic hydrocarbons, **Environmental Health Criteria 202**, 1998. <https://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc202.htm>.

Kennaway, E.L., Hieger, I. Carcinogenic substances and their fluorescence spectra. **Br. Med. J.** 1, 1044–1046, 1930. <https://doi.org/10.1136/bmj.1.3622.1044>.

Meador, J.P. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, in: Jørgensen, S.E., Fath, B.D. (Eds.), **Encyclopedia of Ecology**. Academic Press, pp. 2881–2890, 2008.

Munyeza, C.F., Rohwer, E.R., Forbes, P.B.C. A review of monitoring of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons: An African perspective. **Trends Environ. Anal. Chem.** 24, e00070, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.teac.2019.e00070>.

NHMRC, National Water Quality Management Strategy: **Australian Drinking Water Guidelines**, Australia, 2011. <https://guidelines.nhmrc.gov.au/australian-drinking-water-guidelines/part-5/physical-chemical-characteristics/polycyclic-aromatic-hydrocarbons-pahs>.

Patel, J., *et al.* Maternal Occupational Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and the Risk of Isolated Congenital Heart Defects among Offspring. **Environ. Res.** 2020 186, 109550, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109550>.

Pott, P. **Chirurgical Observations - Relative to the Cataract, The Polypus of the Nose, The Cancer of the Scrotum, The Different Kinds of Ruptures, and The Mortification of the Toes and Feet.** T.J. Carnegy for L. Hawes, W. Clarke & R. Collins, 1775.

Purcaro, G., Moret, S., Conte, L.S. Overview on polycyclic aromatic hydrocarbons: Occurrence , legislation and innovative determination in foods. **Talanta** 105, 292–305, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2012.10.041>.

Roslund, M.I., *et al.* Endocrine disruption and commensal bacteria alteration associated with gaseous and soil PAH contamination among daycare children. **Environ. Int.** 130, 104894, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.06.004>.

Shen, H. **Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Their Global Atmospheric Emissions, Transport and Lung Cancer Risk, Ecotoxicology Essentials.** Springer, Berlin, 2016. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-49680-0>.

Singh, L., Varshney, J.G., Agarwal, T., 2016. Polycyclic aromatic hydrocarbons formation and occurrence in processed food. **Food Chem.** 199, 768–781, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.074>.

Singh, L., Agarwal, T., Simal-Gandara, J., 2020. PAH, diet and cancer prevention: Cooking process driven-strategies. **Trends Food Sci. Technol.** 99, 487–506, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.030>.

Sparling, Donald.W. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, in: **Ecotoxicology Essentials Environmental Contaminants and Their Biological Effects on Animals and Plants.** Academic Press, pp. 193–223, 2016. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801947-4.00007-X>.

Speight, J.G. Chemistry and chemical technology, in: **Handbook of Industrial Hydrocarbon Processes.** Gulf Professional Publishing, Laramie, pp. 1–44, 2020. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809923-0.00001-1>.

Sun, L., *et al.* Relationship between polycyclic aromatic hydrocarbons and rheumatoid arthritis in US general population, NHANES 2003–2012. **Sci. Total Environ.** 704, 135294, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135294>.

Sun, K. *et al.* A review of human and animals exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: Health risk and adverse effects, photo-induced toxicity and regulating effect of microplastics, **Science of The Total Environment.** Elsevier B.V. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145403>.

Wenzl, T., Zelinkova, Z.. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Food and Feed, in: Melton, L., Shahidi, F., Varellis, P. (Eds.), **Encyclopedia of Food Chemistry.** Elsevier Inc., pp. 455–469, 2018. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814026-0.21805-2>.

WHO, World Health Organization. Evaluation of certain food contaminants. Food Additives Joint FAO/WHO Expert Committee on Sixty-fourth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, 930th ed, **World Health Organization Technical Report Series**. World Health Organization, Geneva, 2006.

WHO, World Health Organization. Cancer. **World Health Organ.**, 2025. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cancer>.

Wu, J., *et al.* Exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and missed abortion in early pregnancy in a Chinese population. **Sci. Total Environ.** 408, 2312–2318, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.02.028>.

Wu, G. *et al.* Polycyclic aromatic hydrocarbons in edible oils and fatty foods: Occurrence, formation, analysis, change and control, 1st ed, **Advances in Food and Nutrition Research**. Elsevier Inc, 2020. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2020.02.001>.

Yamagiwa, K., Ichikawa, K. Experimental study of the pathogenesis of carcinoma. **CA: A cancer Journal for Clinicians**, 1977. <https://doi.org/10.3322/canjclin.27.3.174>.

STRATEGIES TO REDUCE POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN FOOD: INDUSTRIAL AND CULINARY APPROACHES

Ana Paula Zapelini de Melo

Federal University of Santa Catarina

Department of Food Science and Technology

Rodrigo Barcellos Hoff

Ministry of Agriculture and Livestock

Advanced Laboratory Section of Santa Catarina

Luciano Molognoni

Ministry of Agriculture and Livestock

Advanced Laboratory Section of Santa Catarina

Santa Catarina Institute of Agricultural Health

Thais de Oliveira

Ministry of Agriculture and Livestock

Advanced Laboratory Section of Santa Catarina

Santa Catarina Institute of Agricultural Health

Heitor Daguer

Ministry of Agriculture and Livestock

Advanced Laboratory Section of Santa Catarina

Pedro Luiz Manique Barreto

Federal University of Santa Catarina

Department of Food Science and Technology

ABSTRACT

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) are organic compounds recognized for their carcinogenic potential and widespread occurrence in food. This chapter addresses the applied dimension of PAH contamination, highlighting the main mechanisms of formation, transfer, and accumulation of these compounds during industrial processing and culinary practices. Operational and compositional factors influencing their generation are discussed, including fuel type, temperature, exposure time, fat content, and distance from the heat source, as well as the food groups most susceptible to contamination, such as meat, fish, oils, fats, cereals, and vegetables. In addition, industrial and household mitigation strategies are presented, aiming to reduce PAH formation without compromising the sensory and microbiological quality of food. Among the promising alternatives are the use of physical barriers, antioxidant ingredients, and emerging technologies such as ohmic heating, infrared, and cold plasma. The chapter thus provides a practical approach to how chemical and technological knowledge can be applied to minimize dietary exposure to potentially carcinogenic compounds.

Keywords: Emerging Technologies; Food Processing; Food Safety; Mitigation Strategies; pah.

INTRODUCTION

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) have drawn increasing attention in recent decades, mainly due to their widespread occurrence in foods and their recognized carcinogenic potential (IARC, 2015; De Melo *et al.*, 2022a). After their identification as byproducts of the incomplete combustion of organic matter, research efforts advanced to understand how these compounds are generated and transferred along the food chain, as well as which technological conditions favor their formation during food processing and preparation. As investigations evolved, it became evident that the presence of PAH is not limited to environmental sources, such as soot and oil spills, but also arises directly from thermal operations widely used in food production, including drying, smoking, frying, roasting, and grilling (Idowu *et al.*, 2019; Singh *et al.*, 2020).

In our previous study, *“Polycyclic aromatic hydrocarbons in food: physicochemical properties, carcinogenic mechanisms, and regulatory frameworks”*, we reviewed the theoretical foundations necessary to understand these contaminants in the context of food safety. The discussion encompassed the physicochemical principles that explain their persistence and bioaccumulation, the metabolic bioactivation mechanisms, and the main regulatory frameworks. Composite markers such as PAH4 (benzo[*a*]anthracene, benzo[*a*]pyrene, benzo[*b*]fluoranthene, and chrysene) and PAH8 (PAH4 plus benzo[*k*]fluoranthene, benzo[*ghi*]perylene, dibenzo[*a,h*]anthracene, and indeno[1,2,3-*cd*]pyrene) are currently used as reference indicators of contamination in food monitoring programs (EFSA, 2008).

Building upon this conceptual framework, the present chapter adopts an applied perspective, focusing on how PAH are formed, transferred, and accumulated during industrial processing and common culinary practices. The following sections examine the technological and compositional factors that influence PAH formation and discuss the food groups most susceptible to contamination. In addition, the chapter presents practical approaches for minimizing the occurrence of these contaminants in foods while maintaining their nutritional, sensory, and microbiological quality.

MAIN INDUSTRIAL AND COOKING PROCESSES LEADING TO PAH CONTAMINATION IN FOOD

An important anthropogenic source of PAH food contamination is derived from industrial processing and culinary practices techniques. However, the environmental contamination caused by atmospheric precipitation and fossil fuel spills is frequently reported (Adeniji *et al.*, 2018; Beiras, 2018).

The main categories of food contributing to the dietary intake of PAH include cereals, oils and fats, vegetables, meat products and fish subjected to severe processing conditions, such as grilling, frying, smoking, and roasting, or from environmental contamination, such as soot deposition and oil spills (WHO, 2006; EFSA, 2008). The technological processing and cooking conditions that play a crucial role in the abundance of PAH in food will be covered in this section.

Industrial processes and cooking practices susceptible to contamination

Various operational parameters may have an influence on the PAH concentration in food, including the type of fuel used, position, and distance of the food from the heat source, design of the heat source equipment, time, temperature, packaging, food chemical composition (e.g., lipid content), ingredients, and manufacturing aids present.

Although the exact mechanism of PAH formation in food subjected to heat treatments is not fully elucidated, three probable hypotheses have been proposed. These include: (I) pyrolysis of organic components such as carbohydrates, proteins, and lipids; (II) direct lipid drip on the heating source; and (III) incomplete combustion of wood, agricultural residues or fossil fuels (Lee *et al.*, 2016; Cheng *et al.*, 2019; Singh *et al.*, 2020).

During heat processing, high temperatures (above 200 °C) favor the formation of free radicals and aromatic compounds that are precursors of low molecular weight PAH. These compounds undergo cyclization and recombination, forming stable polynuclear molecules of high molecular mass that are retained in the lipid fractions of food (Jägerstad; Skog, 2005; Singh *et al.*, 2020).

Most studies on the occurrence of PAH in foods have been conducted under controlled experimental conditions, predominantly employing chromatographic

techniques such as gas chromatography coupled to mass spectrometry (GC–MS) and high-performance liquid chromatography (HPLC) for the quantification of PAH4 and PAH8 groups. However, differences in experimental design, fuel type, and applied temperature regimes hinder direct comparison of results and the identification of consistent formation patterns. In addition, the limited number of studies reproducing realistic industrial or domestic processing conditions restricts the extrapolation of laboratory findings to actual food production scenarios. The following subsections summarize representative findings across major processing categories and highlight methodological variations and knowledge gaps relevant to PAH contamination in foods.

Drying

Drying is one of the oldest and most extensively used operations for food preservation. Drying methods aim to reduce the water content of food, inhibit enzymatic activity and the development of microorganisms, and consequently promote the products preservation (Llavata *et al.*, 2020). Traditionally, they can be divided into direct or indirect methods. Basically, in the direct methods the heat source and the combustion gases heat the air in direct contact with the food, while in the indirect methods the air is preheated (e.g., electrically or by heat exchangers) and channeled to the drying chamber (Codex Alimentarius, 2009; El-Sebaii; Shalaby, 2012). Although drying methods provide several desirable physicochemical and sensory properties, potentially toxic compounds, such as PAH, can be formed or deposited on food. A wide range of unit operations and dryer models can be used to dehydrate food. The solar dryer and the hot air dryer are generally the most used.

Sun drying is a simple method and is generally home used. In this modality, the solar energy reflects on a glass panel that continuously heats the air; by convection, the heated air moves to the food, promoting evaporation of free water (El-Sebaii; Shalaby, 2012). Temperatures above 30 °C and relative humidity below 60% are required for a successful operation (Kerr, 2019). Submitting food to hostile weather conditions such as rain, insects, and soot particles for long periods of time can compromise the final product safety (Nuroğlu *et al.*, 2019). Sun drying limitations can be circumvented by hot air drying. The hot air drying,

an adiabatic method, is extensively used in the industrial field. During this method the air is drawn in by a fan and passes through a heat source (usually electric or gas), providing the product dehydration. This process is usually operated between 40 – 80 °C (Kerr, 2019).

Smoking

Like drying, smoking is one of the most traditional strategies used for food preservation. The cellulose, hemicellulose, and lignin pyrolysis give food unique organoleptic properties through the formation of organic acids, phenols, and carbonyl compounds, which are responsible for the characteristic taste, color, and aroma of smoked products, besides acting as antimicrobials and antioxidants, prolonging its shelf life (Codex Alimentarius, 2009; Malarut; Vangnai, 2018; Huang *et al.*, 2019).

Wood type can contribute to the PAH content in smoked food. PAH from wood combustion are formed by the depolymerization of lignin to lignocellulose, therefore, woods with high lignin content naturally produce higher concentrations of PAH (Essumang *et al.*, 2013; Merlo *et al.*, 2020). Woods from species such as *Acacia crassicaarpa* (21.2 – 23.1% lignin) and *Flemingia macrophylla* (19.3% lignin) can produce higher PAH concentrations when compared to the species *Mangifera indica* (10.4% lignin), *Azadirachta indica* (9.7% – 13.2% lignin), *Eucalyptus camaldulensis* (7.9% lignin), and *Sesbania sesban* (6.7% lignin) (Afé *et al.*, 2020).

Traditional smoking methods can be categorized according to the smoke temperature (cold, semi-hot, and hot smoking) and the location where the smoke is generated (direct or indirect smoking). Smoking methods comprise temperatures between 18 – 25 °C (cold smoking), 30 – 40 °C (semi-hot smoking), or 70 – 90 °C (hot smoking) (Codex Alimentarius, 2009). In the direct method, the smoke from the wood thermal combustion is generated in the same environment of the food, and the partial condensation products come directly into contact with the food. In the indirect method, smoke is generated in a separate chamber and conducted to the food (Kafouris *et al.*, 2020; Ledesma *et al.*, 2016; Zachara *et al.*, 2017).

Roasting and broiling (barbecue)

Heat treatments such as roasting and broiling (barbecue) are popularly used in the home environment. As a result of intense chemical reactions (Maillard and caramelization reactions) volatile compounds are formed, giving food characteristic attributes such as color, flavor, and texture (Rey-Salgueiro *et al.*, 2008; Breslin; Knott, 2020; Suleman *et al.*, 2020). However, since time and temperature conditions are rarely monitored during roasting and broiling, such processes can pose a potential health risk to the consumers due to the formation of carcinogenic compounds, such as PAH.

The thermal processing of roasting and barbecue preparation can be applied directly (wood, coal or gas) or indirectly (electric), generally encompassing temperatures between 200 – 260 °C, which can reach extremely high temperatures (500 °C) (Rey-Salgueiro *et al.*, 2008; Suleman *et al.*, 2020). Direct cooking techniques, subjected to severe temperatures (above 200 °C), provide pyrolysis of organic components and direct lipid dripping on the heat source (Singh *et al.*, 2016; Suleman *et al.*, 2020). Under these conditions, pyrolytic PAH are formed and subsequently adsorbed onto the food surface. Once adhered, they slowly migrate to the products interior, as the smoke intensifies (Duedahl-Olesen, 2013; Bansal; Kim, 2015).

Frying

Simultaneous heat and mass transfer operations, such as frying, provide food attractive sensory characteristics to consumers, especially related to the crunchy texture. This type of heat treatment, usually operated between 150 – 190 °C (or higher temperatures), results in a series of structural chemical reactions induced by heat, exposure to oxygen and moisture, which favor the breakdown of the molecular arrangement, followed by the expansion of the particles, reduced solubility and, finally, rapid evaporation of water, providing the products particular sensory attributes (Iwegbue *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2020).

Although frying offers consumers interesting organoleptic properties, high concentrations of PAH have been frequently reported. At restaurants (such as fast-food outlets) or in domestic cooking practices continuous frying

processes or reuse of frying oils are quite common and provide extremely high concentrations of PAH in oils and in fried food (Hao *et al.*, 2016; Iwegbue *et al.*, 2020; Wu *et al.*, 2020).

Boiling

Boiling processes are extensively employed in domestic and industrial routine. During boiling, food submerged in a liquid is exposed to an external heat source producing vapor bubbles at approximately 100 °C. The formed bubbles dissipate heat through the food, and they stick to the heated surface by surface tension. When the size of the bubble becomes prominent towards the surface tension force, the bubble detaches (Mohanty; Das, 2017). Under these processing conditions, food contamination with PAH is extremely low (IARC, 2015).

FOOD GROUPS SUSCEPTIBLE TO PAH CONTAMINATION

Vegetables

Usually, PAH levels in fruits and vegetables are low, however, when grown near polluted areas such as roads and industries, the contamination can be substantial (Jia *et al.*, 2018; Murray; Penning, 2018). Vegetables can be contaminated by two main routes: (I) by air, through the deposition of soot particles on the vegetables, and (II) by soil, through the absorption of PAH by the roots (Zhu *et al.*, 2021). PAH with four or more aromatic rings adhere strongly to particulate materials and can be accumulated on soil, while PAH with two or three rings are airborne and can easily be deposited on leaves and fruits due to their waxy surface (Purcaro *et al.*, 2013).

The plant morphology influences its contamination. The abundance of PAH is usually greater on surfaces such as bark and leaves (Zelinkova; Wenzl, 2015). Leafy vegetables (such as lettuce and cole) with a large surface area can be contaminated more easily when compared to other kinds of vegetables, such as roots and tubers (for example, carrots and potatoes). Considering atmospheric deposition as the dominant route in leafy matrices, surface contamination largely explains higher values in leaves compared to roots and tubers (Zhu *et al.*, 2021).

Jia *et al.* (2018) revealed extremely alarming PAH concentrations when evaluating vegetables grown near industrial facilities in suburban areas of Shanghai, China. Leafy vegetables such as lettuce (132.0 – 319.2 $\mu\text{g kg}^{-1}$; $n = 8$), romaine lettuce (223.3 – 458.0 $\mu\text{g kg}^{-1}$; $n = 5$), and Chinese cabbage (206.0 – 348.1 $\mu\text{g kg}^{-1}$; $n = 8$), were more prone to contamination when compared to roots, such as white radish (65.7 – 92.4 $\mu\text{g kg}^{-1}$; $n = 5$), reinforcing that atmospheric deposition is the dominant route of environmental contamination.

Heat treatments can also increase the concentration of PAH in vegetables, as reported by Cheng *et al.* (2019) when evaluating the effects of domestically grilling on an electric grill (250 – 325 °C for 1.6 – 2.5 minutes) for various types of vegetables ($n = 100$). Raw samples had lower concentrations of PAH when compared to the grilled ones. A considerable increase in PAH was reported for potatoes (from 17.7 – 29.3 $\mu\text{g kg}^{-1}$ to 573 – 1936 $\mu\text{g kg}^{-1}$), eggplants (from 17.1 – 56.3 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ to 138 – 691 $\mu\text{g kg}^{-1}$), noki mushrooms (from 7.51 – 52.7 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ to 540 – 1452 $\mu\text{g.kg}^{-1}$), and green peppers (from 139 – 234 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ to 896 – 1392 $\mu\text{g.kg}^{-1}$).

Current evidence indicates that PAH contamination in vegetables cannot be attributed to a single source but rather to the interaction between environmental exposure and post-harvest practices. The variability among studies highlights the lack of standardized assessment methods and suggests that future investigations should integrate environmental monitoring, plant physiology, and processing effects to better predict contamination dynamics across different cultivation contexts.

Cereals and cereal derived products

Although cereals and their derivatives have low concentrations of PAH, their expressive consumption makes them important contributors to human PAH exposure. Like vegetables, cereals can be contaminated environmentally or by heat treatments, with pyrogenic contamination being the most relevant pathway.

The drying process, used to reduce the metabolism of cereal grains, is an important step to ensure microbiological safety during storage. In this process, products from the combustion of organic materials can come into direct contact with the cereal and promote high concentrations of PAH in food (Bertinetti *et al.*, 2018).

Bertinetti *et al.* (2018) elucidated the influence of industrial processing (parboilization, peeling, and polishing), nature of the heating source (electrical, eucalyptus wood, rice husk, and liquefied petroleum gas), and drying temperature (80, 60, and 40 °C) in the content of PAH in rice grains. The highest concentrations of PAH were found in parboiled rice (9.1 – 164.1 µg kg⁻¹; *n* = 3) regardless of the heating source and temperature used. The parboiling process (immersion in water, steaming, and drying) promoted a barrier in the rice husk and made the PAH deposited on the grains to be retained. Regarding the heating source, the highest concentrations of PAH were reported when drying rice used eucalyptus wood (131.6 – 216.6 µg kg⁻¹; *n* = 3), followed by rice husk (40.9 – 49.3 µg kg⁻¹; *n* = 3), and liquefied petroleum gas (14.8 – 19.7 µg kg⁻¹; *n* = 3). Drying by electric heating produced the lowest concentrations of PAH (6.9 – 8.4 µg kg⁻¹; *n* = 3). Variations in temperature had a limited impact on PAH concentrations, except under conditions where wood served as the fuel source; at 60 and 80 °C, this combination produced considerable contamination (216.6 µg kg⁻¹; *n* = 3).

Cereal derived products such as breads, cakes, and biscuits often require processing at high temperatures, as was evaluated for different types of bread by Rascón *et al.* (2018). These authors have evaluated whole wheat, coarse, sliced, white, and black breads submitted to heat treatment in a domestic electric toaster (600 W for 2 min). Regardless of the type of bread, all of them contained PAH prior to the toasting process, ranging from 4.8 – 12.9 µg kg⁻¹ (*n* = 5), however, the breads toasting considerably increased PAH concentrations to 103.1 – 178.2 µg kg⁻¹ (*n* = 5). Although the study did not assess the influence of temperature as it simulated domestic roasting conditions, in which temperature is not controlled, it was evident that roasting products derived from cereals influences the abundance of intake of carcinogenic compounds, such as PAH.

Differences among studies suggest that the type of fuel and degree of thermal exposure exert a greater impact on PAH formation than temperature alone. However, discrepancies in experimental design, particularly between domestic and industrial drying or toasting, limit direct comparison. Establishing reference conditions for heat processing would enable more reliable evaluation of contamination trends in cereal-based foods.

Oils and fats

Oils and fats are considered important sources of exposure to PAH in the diet, since they are widely used in cooking, incorporated in cakes, cookies, cereal-based products, used as a seasoning and mainly as a means of cooking several categories of food.

The occurrence of PAH in oils and fats is determined by a combination of several factors including atmospheric deposition during grain cultivation and, mainly, by technological processing, such as grain drying, extraction, refining, purification, heat treatments, and cooking practices that use oils and fats as a cooking method (SCF, 2002; EFSA, 2008; Codex Alimentarius, 2009; IARC, 2010).

Iwegbue *et al.* (2020) simulated typical domestic frying conditions, where time and temperature were not controlled. Fishes were subjected to three frying cycles (time interval of 24 hours each cycle) in different vegetable oils (almond, mustard, palm, olive, soybean, and sunflower). The reuse of soy oil increased the PAH concentration by up to 76% (58.9 – 103 $\mu\text{g kg}^{-1}$; $n = 3$). On the other hand, for almond, mustard, palm, and sunflower oils, there was a reduction in PAH concentration between frying cycles, possibly due to PAH volatilization. Although for some oils the PAH concentration decreased after the frying cycles, the exact mechanisms for the reduction were not elucidated by the study.

The repeated use of vegetable oils can alter both the composition and concentration of PAH. While there is general agreement that multiple frying cycles promote PAH accumulation, reported concentrations vary by up to fivefold, mainly due to differences in sampling frequency, oil turnover rates, and analytical detection limits. Most studies rely on small-scale laboratory simulations rather than industrial-scale fryers under controlled conditions. The reuse factor (number of frying cycles) and oxygen exposure time appear to explain much of the variability observed among studies, indicating the need for standardized frying protocols and more consistent experimental approaches to assess PAH formation and degradation in edible oils.

Fish

Fish, crustaceans, and mollusks can be contaminated with PAH due to industrial processing, culinary practices, and environmental contamination, especially oil spills. In a study by Afé *et al.* (2021) traditionally smoked fish in a wood-fired oven were evaluated ($n = 36$). Direct contact between the fish and the smoke from the thermal combustion of wood resulted in extremely high contaminations for PAH4 (15.9 – 399.9 $\mu\text{g kg}^{-1}$), indicating that the smoked fish consumption may cause concern for consumers' health.

Contamination of fish with PAH from petrogenic sources has been frequently reported after oil spill disasters (De Melo *et al.*, 2022a). Fernando *et al.* (2019) described elevated concentrations of PAH in shrimp (13.1 – 107.9 $\mu\text{g kg}^{-1}$; $n = 148$), crab (8.3 – 77.2 $\mu\text{g kg}^{-1}$; $n = 68$), and oyster (13.6 – 71.8 $\mu\text{g kg}^{-1}$; $n = 121$) samples collected in the Gulf of Mexico after the Deepwater Horizon accident. In Brazil, De Melo *et al.* (2022b) reported PAH concentrations in seafood samples of up to 156 $\mu\text{g kg}^{-1}$ ($n = 109$). Subsequently, De Melo *et al.* (2024) quantified PAH in 15% of seafood samples ($n = 238$) collected during the national monitoring program established after the oil spill, with concentrations reaching 69.3 $\mu\text{g kg}^{-1}$.

Bivalve mollusks such as oysters and mussels are of particular concern. The ability of filtering large volumes of water, associated with the low capacity of these organisms to metabolize, reflects on the bioaccumulation of petrogenic compounds, such as PAH (De Melo *et al.*, 2022a). Therefore, environmental monitoring policies are relevant strategies to suppress PAH contamination in seafood.

Meat

Processing meat products (such as smoking, drying, roasting, and frying) improves the sensory and microbiological qualities of meat. However, epidemiological studies and animal experiments have associated the consumption of red meat and processed meat with an increased risk of developing cancer, due to the formation of carcinogenic compounds, including PAH (IARC, 2015). The concentration of PAH in these products depends on the combination of the

type of meat (especially related to the lipid content) and the cooking method (such as time, temperature, and heating source).

According to Lee *et al.* (2016), the predominant factor for PAH contamination of grilled meat on a barbecue grill (using charcoal) was the lipid content of the meat, due to the fat dripping on the heat source. Elevated concentrations for PAH4 have been reported in pork belly samples (33.17 $\mu\text{g kg}^{-1}$; $n = 6$), beef loin (28.70 $\mu\text{g kg}^{-1}$; $n = 6$), and beef rib (23.81 $\mu\text{g kg}^{-1}$; $n = 6$), due to their high fat content (24.4 – 31.7 % fat). For pork neck samples ($n = 6$), with low fat content, the contamination was lower (16.96 $\mu\text{g kg}^{-1}$, 9.5% fat).

Despite consistent evidence linking PAH formation to meat processing, studies still lack integrative approaches that reflect real cooking conditions. Experimental setups often simplify variables that occur simultaneously in practice, such as fat melting, smoke flow, and heat transfer. Addressing these interactions under realistic scenarios would allow a more accurate assessment of exposure risks and support the development of mitigation strategies aligned with consumer habits.

HOW TO REDUCE FOOD CONTAMINATION WITH PAH?

Before describing the main strategies to suppress the contamination of food with PAH, it is important to clarify that so far safe dietary exposure rates have not been established. EFSA (2008) reported that the average consumption of PAH in European countries varied between 235 – 389 ng day⁻¹ for B[a]P, 1168 – 2068 ng day⁻¹ for PAH4, and 1729 – 3078 ng day⁻¹ for PAH8. Cereals, fish and their products are the main contributors to food exposure. However, this estimate may not adequately represent the world scenario, given the immense diversity of existing eating habits. Furthermore, strategies for inhibiting potentially carcinogenic compounds do not consider the sensory preference of consumers. Therefore, data on dietary exposure to food contaminants should consider the relation between the abundance of the present toxic substances, dietary, and cultural habits of the population under investigation.

The type of fuel used directly influences the formation of these compounds. Untreated woods with low lignin content (around 10%), such as *Azadirachta indica*, *Eucalyptus spp.*, and *Sesbania sesban*, generate lower amounts of PAH

during combustion (Malarut; Vangnai, 2018; Merlo *et al.*, 2020). The use of gas grills leads to lower PAH concentrations than charcoal grills, and the combination with thermal pre-treatments such as microwaving reduces total cooking time and consequently the formation of these contaminants (Farhadian *et al.*, 2011).

The distance between the food and the heat source, as well as the fat content of the matrix, are critical variables. Lipid dripping onto the fuel promotes the formation of smoke containing PAH, which deposits on the outer surface of foods (Duedahl-Olesen, 2013; IARC, 2015; Lee *et al.*, 2016). It is recommended to wait until the flames are converted into embers before cooking (Jägerstad; Skog, 2005). Devices that prevent fat dripping and exhaust systems can reduce PAH4 levels in beef and pork by up to 89% (Lee *et al.*, 2016). In addition, vertical barbecue grills, where the heat source is positioned laterally to the food, reduce PAH deposition compared with horizontal systems where the heat source is below the food (SCF, 2002).

The use of packaging during thermal processing can act as a physical barrier against PAH deposition. Aluminum foil and plant leaves such as banana leaf reduce contamination in grilled meats (Farhadian *et al.*, 2011). On an industrial scale, collagen casings applied to smoked meat products exhibit lower soot permeability, resulting in B[a]P concentrations lower than those found in natural casings, which have greater roughness and porosity (Ledesma *et al.*, 2015). Removing or washing the surface of smoked foods, such as fish, also decreases PAH levels, although sensory and microbiological evaluations after this treatment are still lacking (Mahugija; Njale, 2018).

Replacing traditional smoking with liquid or condensed smoke flavorings is an effective and low-cost alternative, since these products undergo controlled thermal degradation and purification processes, generating lower PAH concentrations while maintaining consistent flavor (Ledesma *et al.*, 2016; Zachara *et al.*, 2017; Sun *et al.*, 2019).

At the household level, the use of natural ingredients with antioxidant properties is a promising measure to mitigate PAH formation. Phenolic compounds and sulfhydryl groups present in garlic and onion reduce PAH formation through radical scavenging, an effect associated with allyl methyl trisulfide, the main bioactive compound in garlic (Janoszka, 2011; Hu *et al.*, 2021). Ginger shows a similar behavior, resulting from the thermal conversion of [6]-gingerol

into zingerone and shogaol, molecules with high antioxidant capacity (Lu *et al.*, 2018). Marinades containing green tea extracts also reduce PAH8 contamination due to the adsorption of phenolic compounds such as catechins, eriodictiol, quinic acid, and naringenin onto the food surface, forming an antioxidant barrier during heating (Wang *et al.*, 2018). Beer-based marinades, particularly those prepared with dark beers rich in polyphenols, including homovanillic acid, show comparable effects in reducing PAH formation during charcoal grilling (Viegas *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2019).

Among emerging technologies, ohmic precooking and infrared heating have shown potential to reduce PAH in meat products, although sensory adjustments are still needed (Kendirci *et al.*, 2014; Sengün *et al.*, 2014). Low-pressure cold plasma has also proven effective, promoting the degradation of approximately 46% of B[a]P in roasted sesame seeds without altering sensory properties (Lee *et al.*, 2019).

Other approaches include the use of microorganisms capable of metabolizing aromatic compounds, such as *Pseudomonas sp.*, *Bacillus sp.*, and *Phomopsis liquidambari*, as well as lactic acid bacteria applied to smoked meat products, which reduce the concentrations of B[a]P and chrysene (Bartkiene *et al.*, 2017; Fu *et al.*, 2018). The use of surfactants in agricultural soils, such as cetyltrimethylammonium bromide and dodecylpyridinium bromide, has also been evaluated to reduce PAH transfer to leafy vegetables, although the mechanisms of interaction between surfactants and contaminants remain unclear (Lu; Zhu, 2009; Sun *et al.*, 2016).

Finally, the oxidative stability of frying oils directly influences PAH formation. Oils rich in unsaturated fatty acids, such as soybean, corn, canola, and olive oils, are more prone to oxidation during heating, favoring intramolecular cyclization reactions associated with PAH formation. In contrast, fats composed mainly of saturated fatty acids, such as butter and lard, display higher thermal stability and lower potential for the generation of these compounds (Min *et al.*, 2018; Zhu *et al.*, 2018).

CONCLUSION

A wide variety of factors can modulate the concentration of toxic compounds in food, such as PAH. Preventive control methods for PAH should not compromise the microbiological safety of food or promote the formation of other potentially toxic compounds, such as heterocyclic amines and *N*-nitroso compounds. Implementing strategies to mitigate the toxic effects associated with PAH contamination and other contaminants in food, ensuring the consumers' health without modifying the sensory and microbiological quality of products, is challenging. Therefore, knowing the physicochemical properties of PAH and elucidating the mechanisms associated with the formation of these contaminants in food is extremely important. Hence, it is necessary a joint effort by researchers and regulatory bodies to create tools capable of monitoring and reducing the risks associated with the consumption of food contaminated with PAH and, finally, to disseminate and socialize low-cost practices and domestic applicability, paying attention to nature-based solutions.

Our review provided a better understanding of common issues regarding food contamination with PAH. In addition, we demonstrated that cooking practices to minimize food contamination, such as using low cooking temperatures (< 200 °C), thermal pre-treatments (microwaves), cutting excess fat from meat, washing vegetables, and using antioxidant ingredients such as garlic, onion, ginger, and beer may be very useful and thus should be globally disseminated and adapted. In the industrial field, emerging technologies, such as ohmic heating, infrared and cold plasma at low pressure, use of fungi, bacteria, and surfactants have been proposed to overcome the limitations of traditional techniques and reduce food contamination with PAH. However, the interaction between emerging technologies and PAH still needs further investigation.

Nevertheless, additional studies should be continually encouraged and applied to a wide range of food matrices, without neglecting their physicochemical and microbiological characteristics, and, therefore, properly establish maximum allowable limits and safe daily intake rates for PAH in food considering the population's eating and cultural habits, and finally reduce the risks associated with the consumption of contaminated food and the development of cancer.

Acknowledgment

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

REFERENCES

- Adeniji, A.O., *et al.* Analytical Methods for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and their Global Trend of Distribution in Water and Sediment: A Review, in: **Recent Insights in Petroleum Science and Engineering**. InTech, Rijeka, Croatia, pp. 393–428, 2018. <https://doi.org/10.5772/intechopen.71163>
- Afé, O.H.I., *et al.* Insight about methods used for polycyclic aromatic hydrocarbons reduction in smoked or grilled fishery and meat products for future re-engineering: A systematic review. **Food Chem. Toxicol.** 141, 111372, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111372>
- Afé, O.H. I., *et al.* Contamination of smoked fish and smoked-dried fish with polycyclic aromatic hydrocarbons and biogenic amines and risk assessment for the Beninese consumers. **Food Control** 126, 108089, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108089>
- Bansal, V., Kim, K.H., 2015. Review of PAH contamination in food products and their health hazards. **Environ. Int.** 84, 26–38, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.06.016>
- Bartkiene, E., *et al.* The impact of lactic acid bacteria with antimicrobial properties on biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons and biogenic amines in cold smoked pork sausages. **Food Control** 71, 285–292, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.07.010>
- Beiras, R. Hydrocarbons and Oil Spills, in: **Marine Pollution - Sources, Fate and Effects of Pollutants in Coastal Ecosystems**. Elsevier Inc., Amsterdam, pp. 89–106, 2018. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813736-9.00007-6>
- Bertinetti, I.A., *et al.* Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in rice subjected to drying with different fuels plus temperature, industrial processes and cooking. **J. Food Compos. Anal.** 66, 109–115, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.12.009>
- Bisht, S., *et al.* Utilization of endophytic strain *Bacillus* sp. SBER3 for biodegradation of polyaromatic hydrocarbons (PAH) in soil model system. **Eur. J. Soil Biol.** 60, 67–76, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2013.10.009>
- Breslin, J.C., Knott, K. Toasting, in: **Breakfast Cereals and How They Are Made**. Woodhead Publishing e AACC International Press, pp. 299–321, 2020. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812043-9.00015-1>
- Cheng, J., *et al.* Concentrations and distributions of polycyclic aromatic hydrocarbon in vegetables and animal-based foods before and after grilling: Implication for human exposure. **Sci. Total Environ.** 690, 965–972, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.074>
- Codex Alimentarius. CAC/RCP 68-2009 - Code of practice for the reduction of contamination of food with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH). **Prev. Reduct. Food Feed Contam.** 2009. http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXC%2B68-2009%252FCXP_068e.pdf

De Melo *et al.* Disasters with oil spills in the oceans: Impacts on food safety and analytical control methods, **Food. Res. Int.** 157, 111366, 2022a. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111366>

De Melo *et al.* Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Seafood by PLE-LC-APCI-MS/MS and Preliminary Risk Assessment of the Northeast Brazil Oil Spill, **Food Anal. Meth.** 15, 1826–1842, 2022b. <https://doi.org/10.1007/s12161-022-02252-z>

De Melo *et al.* A fast energized dispersive guided extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons for risk-based seafood monitoring after an oil spill, **Microchem. J.** 196, 109714, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2023.109714>

Duedahl-Olesen, L. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in foods, in: **Persistent Organic Pollutants and Toxic Metals in Foods**. Woodhead Publishing Limited, Philadelphia, pp. 308–333, 2013. <https://doi.org/10.1533/9780857098917.2.308>

EFSA. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Food Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. **Eur. Food Saf. Auth. J.** 724, 1–114, 2008. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2008.724>

El-Sebaili, A.A., Shalaby, S.M. Solar drying of agricultural products: A review. **Renew. Sustain. Energy Rev.** 16, 37–43, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.134>

Essumang, D.K., *et al.* Effect of smoke generation sources and smoke curing duration on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) in different suites of fish. **Food Chem. Toxicol.** 58, 86–94, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.04.014>

Farhadian, A., *et al.* Effects of meat preheating and wrapping on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in charcoal-grilled meat. **Food Chem.** 124, 141–146, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.05.116>

Fasano, E., *et al.* Profiling, distribution and levels of carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in traditional smoked plant and animal foods. **Food Control** 59, 581–590, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.06.036>

Fernando, H., *et al.* Distribution of petrogenic polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in seafood following Deepwater Horizon oil spill. **Mar. Pollut. Bull.** 145, 200–207, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.05.015>

Hao, X., *et al.* Changes in PAH levels in edible oils during deep-frying process. **Food Control** 66, 233–240, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.02.012>

Hu, G. *et al.* Significant inhibition of garlic essential oil on benzo[a]pyrene formation in charcoal-grilled pork sausages relates to sulfide compounds. **Food Res. Int.** 141, 110127, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110127>

Huang, X.H. *et al.* Flavor formation in different production steps during the processing of cold-smoked Spanish mackerel. **Food Chem.** 286, 241–249, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.211>

IARC. **Some Non-heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Some Related Exposures**. International Agency for Research on Cancer Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, 92nd ed. Lyon: WHO Press, 2010. <https://doi.org/10.1136/jcp.48.7.691-a>

IARC. **Red Meat and Processed Meat**. International Agency for Research on Cancer Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, 114th ed. Lyon: WHO Press, 2015. <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.86.012307>

Iwegbue, C.M.A., *et al.* Effect of the number of frying cycles on the composition, concentrations and risk of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in vegetable oils and fried fish. **J. Food Compos. Anal.** 94, 103633, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103633>

Jägerstad, M., Skog, K. Genotoxicity of heat-processed foods. **Mutat. Res. - Fundam. Mol. Mech. Mutagen.** 574, 156–172, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.mrfmmm.2005.01.030>

Janoszka, B. HPLC-fluorescence analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in pork meat and its gravy fried without additives and in the presence of onion and garlic. **Food Chem.** 126, 1344–1353, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.097>

Jia, J., *et al.* Characterization of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in vegetables near industrial areas of Shanghai, China: Sources, exposure, and cancer risk. **Environ. Pollut.** 241, 750–758, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.06.002>

Kafouris, D., *et al.* Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in traditionally smoked meat products and charcoal grilled meat in Cyprus. **Meat Sci.** 164, 108088, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108088>

Kendirci, P., *et al.* Influence of infrared final cooking on polycyclic aromatic hydrocarbon formation in ohmically pre-cooked beef meatballs. **Meat Sci.** 97, 123–129, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.01.020>

Kerr, W.L. Food Drying and Evaporation Processing Operations, in: **Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering**. Academic Press, New York, pp. 353–387, 2019. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814803-7.00014-2>

Ledesma, E., *et al.* Characterization of natural and synthetic casings and mechanism of BaP penetration in smoked meat products. **Food Control** 51, 195–205, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.11.025>

Ledesma, E., *et al.* Contamination of meat products during smoking by polycyclic aromatic hydrocarbons: Processes and prevention. **Food Control** 60, 64–87, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.07.016>

Lee, J.G., *et al.* Effects of grilling procedures on levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled meats. **Food Chem.** 199, 632–638, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.017>

Lee, T., *et al.* Degradation of benzo[a]pyrene on glass slides and in food samples by low-pressure cold plasma. **Food Chem.** 286, 624–628, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.210>

Llavata, B., *et al.* Innovative pre-treatments to enhance food drying: a current review. **Curr. Opin. Food Sci.** 35, 20–26, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.12.001>

Lu, L., Zhu, L. Reducing plant uptake of PAH by cationic surfactant-enhanced soil retention. **Environ. Pollut.** 157, 1794–1799, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.01.028>

Lu, F., *et al.* The effect of common spices and meat type on the formation of heterocyclic amines and polycyclic aromatic hydrocarbons in deep-fried meatballs. **Food Control** 92, 399–411, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.05.018>

Mahugija, J.A.M., *et al.* Effects of washing on the polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) contents in smoked fish. **Food Control** 93, 139–143, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.05.050>

Malarut, J. V. K. Influence of wood types on quality and carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) of smoked sausages. **Food Control** 85, 98–106, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.09.020>

- Masuda, M., *et al.* Simultaneous determination of polycyclic aromatic hydrocarbons and their chlorinated derivatives in grilled foods. **Ecotoxicol. Environ. Saf.** 178, 188–194, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.04.046>
- Merlo, T.C., *et al.* Alternative pressurized liquid extraction using a hard cap espresso machine for determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked bacon. **Food Control** 107565, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.107565>
- Min, S., *et al.* Factors influencing inhibition of eight polycyclic aromatic hydrocarbons in heated meat model system. **Food Chem.** 239, 993–1000, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.020>
- Mohanty, R.L., *et al.* A critical review on bubble dynamics parameters influencing boiling heat transfer. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 78, 466–494, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.092>
- Murray, J.R., Penning, T.M. Carcinogenic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, in: **Comprehensive Toxicology**. Elsevier Ltd., pp. 87–153, 2018. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801238-3.95691-5>
- Nuroğlu, E., *et al.* Evaluation of magnetic field assisted sun drying of food samples on drying time and mycotoxin production. **Innov. Food Sci. Emerg. Technol.** 52, 237–243, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.01.004>
- Paris, A., *et al.* Polycyclic aromatic hydrocarbons in fruits and vegetables: Origin, analysis, and occurrence. **Environ. Pollut.** 234, 96–106, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.028>
- Purcaro, G., Moret, S., Conte, L.S. Overview on polycyclic aromatic hydrocarbons: Occurrence , legislation and innovative determination in foods. **Talanta** 105, 292–305, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2012.10.041>
- Rascón, A.J., *et al.* Assessing polycyclic aromatic hydrocarbons in cereal-based foodstuffs by using a continuous solid-phase extraction system and gas chromatography–mass spectrometry. **Food Control** 92, 92–100, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.04.050>
- Rey-Salgueiro, L., *et al.* Effects of toasting procedures on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in toasted bread. **Food Chem.** 108, 607–615, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.11.026>
- SCF. Opinion of the Scientific Committee on Food on the risks to human health of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in food. **Eur. Comm.** 1–84, 2002.
- Sengün, I.Y., *et al.* Effects of ohmic heating for pre-cooking of meatballs on some quality and safety attributes. **LWT - Food Sci. Technol.** 55, 232–239, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.08.005>
- Singh, L., *et al.* Polycyclic aromatic hydrocarbons formation and occurrence in processed food. **Food Chem.** 199, 768–781, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.074>
- Singh, L., *et al.* PAH, diet and cancer prevention: Cooking process driven-strategies. **Trends Food Sci. Technol.** 99, 487–506, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.030>
- Suleman, R., *et al.* Effect of cooking on the nutritive quality, sensory properties and safety of lamb meat: Current challenges and future prospects. **Meat Sci.** 167, 108172, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108172>
- Sun, K., *et al.* Inoculating plants with the endophytic bacterium *Pseudomonas* sp. Ph6-*gfp* to reduce phenanthrene contamination. **Environ. Sci. Pollut. Res.** 22, 19529–19537, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5128-9>

Sun, Y., *et al.* Trends in Food Science & Technology Trends of research on polycyclic aromatic hydrocarbons in food: A 20-year perspective from 1997 to 2017. **Trends Food Sci. Technol.** 83, 86–98, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.11.015>

Viegas, O., *et al.* Effect of beer marinades on formation of polycyclic aromatic hydrocarbons in charcoal-grilled pork. **J. Agric. Food Chem.** 62, 2638–2643, 2014. <https://doi.org/10.1021/jf404966w>

Wang, J., *et al.* Composite of PAH-degrading endophytic bacteria reduces contamination and health risks caused by PAH in vegetables. **Sci. Total Environ.** 598, 471–478, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.126>

Wang, C., *et al.* Effect of Tea Marinades on the formation of polycyclic aromatic hydrocarbons in charcoal-grilled chicken wings. **Food Control** 93, 325–333, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.12.010>

Wang, L., *et al.* Halogenated and parent polycyclic aromatic hydrocarbons in vegetables: Levels, dietary intakes, and health risk assessments. **Sci. Total Environ.** 616–617, 288–295, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.336>

Wang, C., *et al.* Phenolic compounds in beer inhibit formation of polycyclic aromatic hydrocarbons from charcoal-grilled chicken wings. **Food Chem.** 294, 578–586, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.094>

WHO, World Health Organization. Evaluation of certain food contaminants. Food Additives Joint FAO/WHO Expert Committee on Sixty-fourth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, 930th ed, **World Health Organization Technical Report Series**. World Health Organization, Geneva, 2006.

Wu, G. G., *et al.* Polycyclic aromatic hydrocarbons in edible oils and fatty foods: Occurrence, formation, analysis, change and control, 1st ed, **Advances in Food and Nutrition Research**. Elsevier Inc, 2020. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2020.02.001>

Zachara, A., *et al.* Contamination of smoked meat and fish products from Polish market with polycyclic aromatic hydrocarbons. **Food Control** 80, 45–51, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.04.024>

Zelinkova, Z., Wenzl, T. The Occurrence of 16 EPA PAH in Food - A Review. **Polycycl. Aromat. Compd.** 35, 248–284, 2015. <https://doi.org/10.1080/10406638.2014.918550>

Zhang, X., *et al.* Recent developments in frying technologies applied to fresh foods. **Trends Food Sci. Technol.** 98, 68–81, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.007>

Zhu, Y., *et al.* Correlations between polycyclic aromatic hydrocarbons and polar components in edible oils during deep frying of peanuts. **Food Control** 87, 109–116, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.12.011>

Zhu, Y., *et al.* Evaluation of PAH in edible parts of vegetables and their human health risks in Jinzhong City, Shanxi Province, China: A multimedia modeling approach. **Sci. Total Environ.** 773, 145076, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145076>

BENEFITS OF BIOACTIVE COMPOUNDS AND BIOGENIC AMINES IN GRAPE JUICES: IMPACTS ON HEALTH AND WELL-BEING

Francisco José Domingues Neto
Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Gadiel Zilto Azevedo
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Aline Nunes
Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Tamiris Rodrigues dos Santos
Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Laura Varela
Universidade Estadual Paulista (UNESP)

João Vitor Maduro de Abreu
Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Larissa Ramos Vaz
Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Heitor Savegnago
Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Giuseppina Pace Pereira Lima
Universidade Estadual Paulista (UNESP)

ABSTRACT

Grape juice is a rich source of bioactive compounds that provide a variety of health benefits. It contains high concentrations of polyphenols, including flavonoids and anthocyanins, which exhibit potent antioxidant, anti-inflammatory, and neuroprotective properties. One of its most notable bioactive compounds is resveratrol, a phenolic compound recognized for its ability to protect brain cells from oxidative stress, enhance oxygen transport to the brain, and support cognitive functions. These effects contribute to improved memory retention and may help prevent neurodegenerative disorders, such as Alzheimer's disease, dementia, and other cognitive impairments. Additionally, grape juice has been linked to mood regulation, acting as a natural antidepressant by modulating neurotransmitter activity, which may alleviate stress, anxiety, and depression. Its revitalizing properties further contribute to reducing insomnia and promoting mental well-being. Given its broad spectrum of health benefits, grape juice emerges as a functional beverage with significant potential for enhancing mental health, cognitive performance, and overall quality of life. Regular consumption can play a crucial role in preventing age-related cognitive decline and support a holistic approach to brain health and emotional stability.

Keywords: Polyphenols; precursor amino acids; antioxidants; *Vitis* spp.

INTRODUCTION

Grapes (*Vitis* spp.) represent one of the most economically significant fruit crops globally, with their cultivation and processing contributing substantially to the agricultural and food industries worldwide. Beyond fresh consumption, grape-derived products have experienced remarkable growth, particularly grape juice, which has witnessed unprecedented increases in consumer demand across international markets (FAO, 2024). This remarkable growth reflects a global trend toward functional beverages that offer health benefits beyond basic nutrition, positioning grape juice as a leading functional food product with significant therapeutic potential. This surge in popularity stems from mounting scientific evidence demonstrating the health-promoting properties of grape juice, primarily attributed to its rich phytochemical profile and exceptional concentration of bioactive compounds (Domingues Neto *et al.*, 2024).

Scientific evidence indicates that regular consumption of grape juice positively influences various biomarkers associated with human health. Among the reported benefits are increased plasma antioxidant capacity (Faria *et al.*, 2016; Almeida; Ribeiro; Costa, 2022), modulation of endothelial function (Li *et al.*, 2013; Ashoori *et al.*, 2023), inhibition of platelet aggregation (Cruz *et al.*, 2024), reduction of oxidative stress in plasma proteins and low-density lipoproteins (LDL) (Gomez *et al.*, 2020; Martins *et al.*, 2020; Ashoori *et al.*, 2023), and potential improvements in cardiovascular and neurocognitive functions (Barbalho *et al.*, 2020; Helmer *et al.*, 2020). These effects are primarily attributed to the presence of flavonoids, anthocyanins, and other phenolic compounds that interact with key metabolic and physiological pathways.

However, alongside these beneficial compounds, grape juice may contain biogenic amines (BAs), low-molecular-weight nitrogenous metabolites derived from amino acid decarboxylation processes. From a dual perspective, these compounds present both opportunities and challenges for food safety and human health. While certain biogenic amines such as dopamine, serotonin, and melatonin demonstrate beneficial physiological functions including neurotransmitter activity, antioxidant properties, and circadian rhythm regulation, others (e.g., histamine and tyramine) may pose health risks when present at elevated concentrations (Saha Turna; Chung; McIntyre, 2024; Rampazzo *et al.*, 2025). The

growing consumer awareness of functional foods and their health implications has intensified research focus on optimizing grape juice composition to maximize beneficial effects while minimizing potential risks (Sabra; Netticadan; Wijekoon, 2021). This paradigm shift toward evidence-based functional food development necessitates rigorous scientific evaluation of both positive and negative health impacts associated with grape juice consumption.

Therefore, this comprehensive review aims to provide a critical analysis of the bioactive compounds found in grape juice and their established health benefits. The aim is to enhance understanding of how grape juice can be effectively utilized as a functional beverage, maximizing health benefits while ensuring consumer safety through appropriate quality control measures and optimized processing strategies.

BIOACTIVE COMPOUNDS

Studies across various fields of health and nutrition have established a direct correlation between diet and health, particularly concerning the consumption of products rich in bioactive compounds (Kimokoti; Millen, 2016; Neekhra *et al.*, 2022). Among these products, grape juices are particularly noteworthy due to their high concentrations of bioactive compounds, which can be derived from any grape variety that has reached optimal ripeness (Figure 1).

The juice extraction can be performed through several methods, including “hot press”, “cold press”, and “hot break” (Cosme; Pinto; Vilela, 2018). During these extraction processes, the bioactive compounds inherent in the grapes are released, contributing to various organoleptic properties such as color, aroma, flavor, bitterness, and astringency (Cliff; King; Schlosser, 2007; McRae *et al.*, 2013).

The phenolic composition of bioactive compounds has been extensively studied due to its potential benefits for human health, particularly in the prevention of diseases associated with oxidative stress, such as cardiovascular diseases, cancer, and neurodegenerative disorders (Cosme; Pinto; Vilela, 2018). Phenolic compounds are closely linked to the antioxidant activity observed in grape juice (Granato *et al.*, 2016). Several compounds can synergistically enhance the effects of phenolic compounds, including flavonoids (such as anthocyanins, quercetin, and catechin), stilbenes (notably trans-resveratrol), carotenoids (such as lutein

and β -carotene), as well as vitamins like ascorbic acid (vitamin C) (Gutiérrez-Gamboa *et al.*, 2018; Sharma *et al.*, 2019). Collectively, these compounds contribute to the overall antioxidant activity of grape juice and similar beverages (Dávalos; Bartolomé; Gómez-Cordovés, 2005).

Among flavonoids, anthocyanins are natural pigments responsible for the blue, purple, or red hues of juices, playing a crucial role in the functional quality and color expression of derivatives from *Vitis* spp. (Moreno-Arribas; Polo, 2009). Generally, the intensity of color correlates with increased antioxidant activity (Cömert; Mogol; Gökmen, 2020). Anthocyanins exhibit a range of beneficial functions (Sandoval-Ramírez *et al.*, 2022). For instance, malvidin-3-O-glucoside, the predominant anthocyanin in grapes, possesses anti-inflammatory properties that help modulate and inhibit pro-inflammatory pathways, thereby supporting cardiovascular health (Iban-Arias *et al.*, 2022). Alongside peonidin, malvidin-3-O-glucoside reduces the expression of inflammatory genes (Mackert; McIntosh, 2016), while cyanidin-3-O-glucoside demonstrates beneficial effects against various chronic inflammatory diseases (Fountzas *et al.*, 2023). It also improves insulin resistance through the activation of cellular antioxidant and cytoprotective genes (Molonia *et al.*, 2021) and exhibits antitumor activity (Hao *et al.*, 2021). Additionally, delphinidin-3-O-glucoside not only enhances the color of beverages but also offers health benefits, functioning as a chemotherapeutic agent that may prevent the development and progression of cancer cells (Ragab *et al.*, 2022; Sun *et al.*, 2022; Xiao *et al.*, 2023).

In addition to anthocyanins, quercetin and catechin are significant flavonoids present in high concentrations in grape juices, underscoring their role as functional foods (García-Martínez *et al.*, 2021). Quercetin is associated with a multitude of health benefits, including antioxidant, antimicrobial, anti-inflammatory, antiviral, and anticancer properties. Notably, quercetin has demonstrated cardiovascular benefits, such as lowering blood pressure, reducing cholesterol levels, and improving endothelial function, positioning it as a promising candidate for the prevention and treatment of cardiovascular diseases (Aghababaei; Hadidi, 2023). Similarly, catechin exhibits a wide range of biological activities, including antibacterial, anti-carcinogenic, anti-cataract, antifungal, anti-hypercholesterolemic, anti-inflammatory, antioxidant, antiproliferative, and antiviral effects (Baranwal *et al.*, 2022).

Another significant class of compounds found in grape juice is stilbenes, particularly trans-resveratrol. This compound is among the most extensively studied phenolics and has been associated with a variety of beneficial effects on human health, including neuroprotective effects, cardioprotective effects, and anticancer properties (Xia *et al.*, 2017; Gu *et al.*, 2021; Qureshi; Javed, 2022). In addition, research suggests that resveratrol interacts with the hormonal system improving fat absorption in the body, thereby aiding in the reduction of total cholesterol (Akbari; Tamtaji; Lankarani, 2020; Briansó- Llort *et al.*, 2022).

Grape juices are a notable source of carotenoids, a class of lipophilic pigments primarily concentrated in the fruit's skin and seeds. The predominant carotenoids identified in grapes include the xanthophyll lutein and the carotene β -carotene, with smaller quantities of zeaxanthin, neoxanthin, and violaxanthin also present (Gutiérrez-Gamboa *et al.*, 2018). Biochemically, these molecules function as potent antioxidants by quenching singlet oxygen (1O_2) and scavenging free radicals, a property attributed to their extensive system of conjugated double bonds (Boehm; Edge; Truscott, 2020).

In addition to carotenoids, grape juices contain a variety of essential vitamins, primarily ascorbic acid (vitamin C) (Sharma *et al.*, 2019). Vitamin C is a critical water-soluble micronutrient that serves as a powerful reducing agent and antioxidant. Its biochemical significance is underscored by its role as an indispensable enzymatic cofactor for numerous reactions (Shaghaghi; Kloss; Eck, 2016; Cimmino; Neel; Aifantis, 2018). Notably, it is essential for the hydroxylation of proline and lysine residues, a rate-limiting step in the biosynthesis and stabilization of collagen, the principal structural protein in connective tissues. This function is fundamental for tissue repair, wound healing, and maintaining the integrity of blood vessels, cartilage, and bone (Agrawal *et al.*, 2020; Smith-Cortinez *et al.*, 2021). Furthermore, vitamin C enhances immune function by promoting the activity of various immune cells and facilitates the absorption of non-heme iron from dietary sources (Carr; Maggini, 2017; Skolmowska; Głąbska, 2022).

BIOGENIC AMINES

In addition to bioactive compounds, which serve as important markers for grapes and their derivatives, grape juices also contain biogenic amines (Figure

1). These low-molecular-weight nitrogenous compounds can be synthesized or degraded from various amino acids through the metabolism of living organisms (Ekici; Omer, 2020; Kawade *et al.*, 2023).

The concentration of these amines is significantly influenced by several factors, including the intrinsic characteristics of each grape variety (Del Prete *et al.*, 2009), hygienic conditions and processing methods (Cecchini; Morassut, 2010), the production cycle and fruit maturation (Ortega-Heras *et al.*, 2014), the edaphoclimatic conditions of the producing region (Mota *et al.*, 2009), and the training systems utilized in vine cultivation (Domingues Neto *et al.*, 2022).

Currently, biogenic amines found in grapes and their derivatives are utilized as markers for quality and hygienic-sanitary conditions during processing (Glória, 2005). Amines such as histamine, tyramine, cadaverine, and putrescine are the subject of extensive research due to their detrimental effects on product quality. These compounds serve as indicators of food quality throughout storage and processing, as well as markers for the degradation of these foods resulting from the activity of undesirable bacteria linked to inadequate handling practices (Fong; El-Nezami; Sze, 2021; Li *et al.*, 2023).

The ingestion of histamine and tyramine can elicit a range of adverse health effects (Restuccia; Loizzo; Spizzirri, 2018; Ruiz-Capillas; Herrero, 2019). Histamine is regarded as the most toxic food amine, causing “scombroid” symptoms – such as skin flushing, rash, headache, hypotension, and gastrointestinal upset – when ingested in excess (Yu *et al.*, 2024). Tyramine can trigger hypertensive episodes and migraines, particularly in individuals taking monoamine-oxidase inhibitors (Edinoff *et al.*, 2022). A study conducted by Gomez *et al.* (2020) on grape juices from various cultivars reveals that, although the juices from ‘Carmem’ and ‘Bordô’ grapes contain higher levels of histamine (0.62 and 0.57 mg/L, respectively), these levels remain significantly below thresholds considered harmful to human health. Conversely, the authors found that juices made from the ‘BRS Magna’ and ‘Isabel’ grapes exhibited the lowest total biogenic amine content.

Although putrescine and cadaverine have low acute toxicity, they can potentiate histamine’s effects and promote the formation of carcinogenic nitrosamines from dietary nitrates (del Rio *et al.*, 2019). In a study using GC-MS, Fernandes & Ferreira (2000) reported that grape juices contained putrescine

(Put) and cadaverine (Cad) at mean concentrations of 2.118 mg L⁻¹ and 0.160 mg L⁻¹, respectively, levels similar to those in young Port wines.

Spermidine and spermine function as bioactive polyamines. These low-molecular-weight aliphatic amines are polycationic at physiological pH, enabling them to interact with negatively charged macromolecules, such as DNA and RNA. This property is fundamental to their roles in regulating essential cellular processes, including gene expression, cell proliferation, and differentiation (Restuccia; Loizzo; Spizzirri, 2018; Sagar *et al.*, 2021). Notably, spermidine is a potent physiological inducer of autophagy, a cytoprotective mechanism crucial for cellular quality control that tends to decline with age. This autophagy-inducing capacity is mechanistically linked to significant health benefits, including cardioprotection, neuroprotection, and the extension of healthspan demonstrated across multiple species (Madeo *et al.*, 2019; Sagar *et al.*, 2021). Given these profound health implications, Fernandes & Ferreira (2000) reported that, while in grape juices spermidine (Spd) levels sometimes exceed 2.0 mg/L and spermine (Sp) is present at concentrations in the range of several hundred µg/L, wine contained only trace amounts of spermidine, and spermine was undetectable.

In addition to biogenic amines associated with product quality, other amines and precursor amino acids play direct roles in health, such as dopamine, serotonin, melatonin, tryptophan, and 5-hydroxytryptophan. These substances can be found in grape juice and are considered fundamental for various biological functions (Domingues Neto *et al.*, 2022).

Dopamine, for example, is a key factor in the functioning of the central nervous system, serving as a neurotransmitter that regulates various processes, including reward, movement, and cognition. It acts as an immunomodulator in both the central and peripheral nervous systems (Channeler *et al.*, 2023). Deficiencies in this biogenic amine can lead to cognitive or motor impairments (Ott; Nieder, 2019; Wise; Jordan, 2021). Additionally, dopamine has been associated with alleviating symptoms of Parkinson's disease in humans (Latif *et al.*, 2021). In contrast, serotonin serves not only as a neurotransmitter but also plays a vital role in appetite control, satiety, and various metabolic processes, including anxiety management and mood regulation (Mikkelsen; Damkier; Pedersen, 2023). Grape juices can be considered valuable sources of these neurotransmitters, Domingues Neto *et al.* (2022) identified both dopamine and serotonin in juice

samples, with concentrations varying from 0.05 to 0.82 mg L⁻¹ and 0.02 to 0.42 mg L⁻¹, respectively. This variability in neurotransmitter content was correlated with the specific grape cultivar and the cultivation training system used.

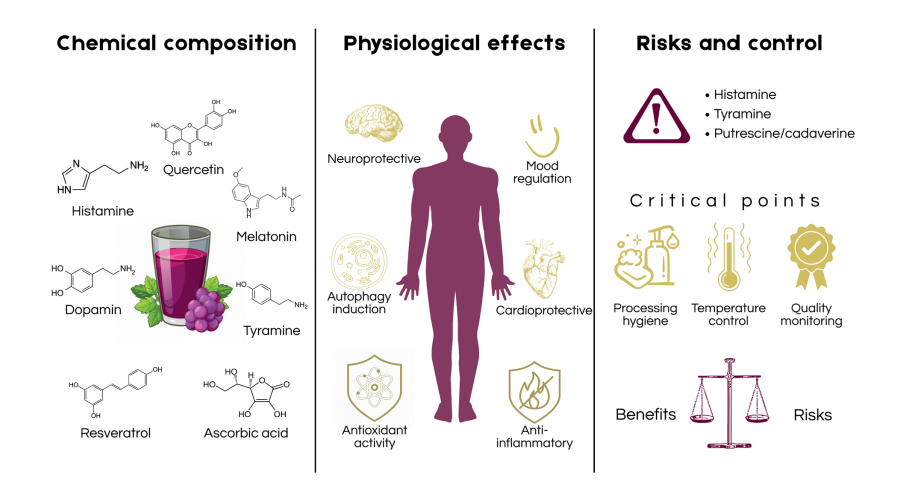
Another important biogenic amine is melatonin, which is produced from serotonin through enzymatic action. Melatonin primarily regulates physiological processes related to circadian rhythms, sleep, and chronic stress (Challet; Pévet, 2024; Gao *et al.*, 2024). The consumption of beverages rich in tryptophan and 5-hydroxytryptophan – precursors to serotonin and melatonin – is essential for serotonin synthesis in the brain. Notably, serotonin does not cross the blood-brain barrier; its synthesis and turnover depend on the intake of these precursors (Palego *et al.*, 2016). Therefore, foods with higher levels of tryptophan and 5-hydroxytryptophan, such as grape juices, may help balance serotonin and melatonin levels, both of which are powerful antioxidant molecules (Domingues Neto *et al.*, 2022). Supporting this, Domingues Neto *et al.* (2022) also identified melatonin in grape juice, reporting concentrations ranging from 0.13 to 0.48 mg L⁻¹.

The dual nature of biogenic amines in grape juice – encompassing both beneficial physiological effects and potential toxicological risks – necessitates a balanced approach to production and consumption. Understanding the complex relationships between formation mechanisms, health effects, and control strategies is essential for optimizing grape juice as a functional beverage that maximizes health benefits while ensuring consumer safety through appropriate quality control measures.

Critical control points in this process include the selection of raw materials, maintenance of hygiene during processing, temperature control throughout production, and regular monitoring of microbial populations capable of producing amines (Visciano; Schirone, 2022; Semjon *et al.*, 2025). Risk assessment of biogenic amines in grape juice requires careful consideration of both the toxicity of individual compounds and potential synergistic interactions.

Current regulatory frameworks vary significantly among countries; some nations have established specific limits for histamine in alcoholic beverages, while others rely on general food safety principles (Saha Turna; Chung; McIntyre, 2024). The absence of harmonized international standards for biogenic amines in grape juice poses challenges for global trade and consumer protection.

Figure 1 - Chemical composition, physiological effects, risks, and consumption control of grape juice.



Source: Prepared by the authors (2025).

CONCLUSION

Grape juices represent a rich reservoir of bioactive compounds and biogenic amines, establishing them as significant functional beverages for disease prevention and the enhancement of overall health. The presence of beneficial amines, such as dopamine, serotonin, and melatonin, underpins their physiological effects, which include notable antioxidant activity and mood regulation. Nevertheless, it is imperative to address the potential deleterious effects associated with certain amines, such as histamine, on product quality and human health.

Consequently, although grape juices confer substantial health benefits, rigorous ongoing research and stringent quality control measures are essential to optimize their positive effects and mitigate adverse health outcomes. Ultimately, the integration of grape juice into a balanced diet may serve as an effective strategy for promoting well-being and preventing various health-related issues.

Acknowledgments

We are grateful for the support of grant 2016/07510-2, awarded to F.J.D.N., and 2023/03886-1, awarded to A.N. by the São Paulo Research Foundation (FAPESP), and grant 311719/2023-6 (G.P.P.L.) from the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq).

REFERENCES

- AGHABABAEI, F.; HADIDI, M. Recent advances in potential health benefits of quercetin. **Pharmaceuticals**, v. 16, n. 7, p. 1-31, 2023.
- AGRAWAL, D.; SHAH, A.; MEHTA, K. D.; JAIN, R.; MOTLEKAR, S. Role of nutritional supplements in the management of tendinopathies: focus on combination of type 1 collagen, vitamin C and mucopolysaccharides. **International Journal of Research in Orthopaedics**, v. 6, n. 6, p. 1355-1361, 2020.
- AKBARI, M.; TAMTAJI, O. R.; LANKARANI, K. B. *et al.* The effects of resveratrol on lipid profiles and liver enzymes in patients with metabolic syndrome and related disorders: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. **Lipids in Health and Disease**, v. 19, p. 1-12, 2020.
- ALMEIDA, T. R. S.; RIBEIRO, A. B.; COSTA, J. R. M. Avaliação do potencial antioxidante de sucos de uva integrais de diferentes marcas comerciais. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 4, p. 2345-2357, 2022.
- ASHOORI, M.; SOLTANI, S.; KOLAHDOUZ-MOHAMMADI, R.; MOGHADERI, F.; CLAYTON, Z.; ABDOLLAHI, S. The effect of whole grape products on blood pressure and vascular function: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. **Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases**, v. 33, n. 10, p. 1836-1848, 2023.
- BARANWAL, A.; AGGARWAL, P.; RAI, A.; KUMAR, N. Pharmacological actions and underlying mechanisms of catechin: a review. **Mini Reviews in Medicinal Chemistry**, v. 22, n. 5, p. 821-833, 2022.
- BARBALHO, S. M.; BUENO OTTOBONI, A. M. M.; FIORINI, A. M. R.; GUIGUER, É. L.; NICOLAU, C. C. T.; GOULART, R. A.; FLATO, U. A. P. Grape juice or wine: which is the best option. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 60, n. 22, p. 3876-3889, 2020.
- BOEHM, F.; EDGE, R.; TRUSCOTT, T. G. Anti- and pro-oxidative mechanisms comparing the macular carotenoids zeaxanthin and lutein with other dietary carotenoids - a singlet oxygen, free-radical in vitro and ex vivo study. **Photochemical & Photobiological Sciences**, v. 19, n. 8, p. 1001-1009, 2020.
- BRIANSÓ-LLORT, L.; SIMÓ-SERVAT, O.; RAMOS-PEREZ, L.; TORRES-TORRONTERAS, J.; HERNANDEZ, C.; SIMÓ, R.; SELVA, D. M. Effect of resveratrol content in red wine on circulating sex hormone-binding globulin: lessons from a pilot clinical trial. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 66, n. 16, p. 1-6, 2022.
- CARR, A. C.; MAGGINI, S. Vitamin C and immune function. **Nutrients**, v. 9, n. 11, p. 1-25, 2017.
- CECCHINI, F.; MORASSUT, M. Effect of grape storage time on biogenic amines content in must. **Food Chemistry**, v. 123, n. 2, p. 263-268, 2010.
- CHALLET, E.; PÉVET, P. Melatonin in energy control: circadian time-giver and homeostatic monitor. **Journal of Pineal Research**, v. 76, n. 4, p. 1-11, 2024.
- CHANNER, B.; MATT, S. M.; NICKOLOFF-BYBEL, E. A.; PAPA, V.; AGARWAL, Y.; WICKMAN, J.; GASKILL, P. J. Dopamine, immunity, and disease. **Pharmacological Reviews**, v. 75, n. 1, p. 62-158, 2023.

CIMMINO, L.; NEEL, B. G.; AIFANTIS, I. Vitamin C in stem cell reprogramming and cancer. **Trends in Cell Biology**, v. 28, n. 9, p. 698-708, 2018.

CLIFF, M. A.; KING, M. C.; SCHLOSSER, J. Anthocyanin, phenolic composition, colour measurement and sensory analysis of BC commercial red wines. **Food Research International**, Barking, v. 40, n. 1, p. 92-100, 2007.

CÔMERT, E. D.; MOGOL, B. A.; GÖKMEN, V. Relationship between color and antioxidant capacity of fruits and vegetables. **Current Research in Food Science**, v. 2, p. 1-10, 2020.

COSME, F.; PINTO, T.; VILELA, A. Phenolic compounds and antioxidant activity in grape juices: a chemical and sensory view. **Beverages**, v. 4, n. 1, p. 1-14, 2018.

CRUZ, M. A. A. S.; ELIAS, M. B.; CALINA, D.; SHARIFI-RAD, J.; TEODORO, A. J. Insights into grape-derived health benefits: a comprehensive overview. **Food Production, Processing and Nutrition**, v. 6, p. 1-23, 2024.

DÁVALOS, A.; BARTOLOMÉ, B.; GÓMEZ-CORDOVÉS, C. Antioxidant properties of commercial grape juices and vinegars. **Food Chemistry**, v. 93, p. 325-330, 2005.

DEL PRETE, V.; COSTANTINI, A.; CECCHINI, F.; MORASSUT, M.; GARCIA-MORUNO, E. Occurrence of biogenic amines in wine: The role of grapes. **Food Chemistry**, v. 112, n. 2, p. 474-481, 2009.

DEL RIO, B.; REDRUELLO, B.; LINARES, D. M.; LADERO, V.; RUAS-MADIEDO, P.; FERNANDEZ, M.; MARTIN, M. C.; ALVAREZ, M. A. The biogenic amines putrescine and cadaverine show in vitro cytotoxicity at concentrations that can be found in foods. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1-7, 2019.

DOMINGUES NETO, F. J.; BORGES, C. V.; LIMA, G. P. P.; PIMENTEL JUNIOR, A.; MONTEIRO, G. C.; FIGUEIRA, R.; VENTURINI FILHO, W. G.; MINATEL, I. O.; MOURA, M. F.; TECCHIO, M. A. Improvement of biogenic amines in grape juice from *Vitis labrusca* and hybrid grapes grown in different training systems. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 98, n. 2, p. 1-10, 2022.

DOMINGUES NETO, F. J.; PIMENTEL JUNIOR, A.; BORGES, C. V.; RODRIGUES, J. D.; FIGUEIRA, R.; MOURA, M. F.; MINATEL, I. O.; NUNES, A.; LIMA, G. P. P.; TECCHIO, M. A. Polyphenolic profile and antioxidant activity of whole grape juices from *Vitis labrusca* and Brazilian hybrid grapes in two training systems. **Antioxidants**, v. 13, p. 1-17, 2024.

EDINOFF, A. N.; SWINFORD, C. R.; ODISTO, A. S.; BURROUGHS, C. R.; STARK, C. W.; RASLAN, W. A.; CORNETT, E. M.; KAYE, A. M.; KAYE, A. D. Clinically relevant drug interactions with monoamine oxidase inhibitors. **Health psychology research**, v. 10, n. 4, p. 1-13, 2022.

EKICI, K.; OMER, A. K. Biogenic amines formation and their importance in fermented foods. **BIO Web of Conferences**, v. 17, p. 1-5, 2020.

FAO. **Agricultural production statistics 2010–2023**. FAOSTAT Analytical Briefs, n. 96, 2024.

FARIA, S. B. A.; SOUZA, V. R.; DIAS, J. F.; MOREIRA, N. X.; AZEREDO, V. B. Effect of grape juice consumption on antioxidant activity and interleukin-6 concentration in lactating rats. **Nutrición Hospitalaria**, v. 33, p. 1418-1423, 2016.

FERNANDES, J. O.; FERREIRA, M. A. Combined ion-pair extraction and gas chromatography-mass spectrometry for the simultaneous determination of diamines, polyamines and aromatic amines in Port wine and grape juice. **Journal of Chromatography A**, v. 886, p. 183-195, 2000.

FONG, F. L. Y.; EL-NEZAMI, H.; SZE, E. T. P. Biogenic amines – precursors of carcinogens in traditional Chinese fermented food. **NFS Journal**, v. 23, p. 52-57, 2021.

FROUNTZAS, M.; KARANIKKI, E.; TOUTOUZA, O.; SOTIRAKIS, D.; SCHIZAS, D.; THEOFILIS, P.; TOUSOULIS, D.; TOUTOUZAS, K. G. Exploring the impact of cyanidin-3-glucoside on inflammatory bowel diseases: investigating new mechanisms for emerging interventions. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 11, p. 1-25, 2023.

GAO, Z.; LUO, K.; HU, Y.; NIU, Y.; ZHU, X.; LI, S.; ZHANG, H. Melatonin alleviates chronic stress-induced hippocampal microglia pyroptosis and subsequent depression-like behaviors by inhibiting Cathepsin B/NLRP3 signaling pathway in rats. **Translational Psychiatry**, v. 14, n. 1, p. 1-14, 2024.

GARCÍA-MARTÍNEZ, D. J.; ARROYO-HERNÁNDEZ, M.; POSADA-AYALA, M.; SANTOS, C. The high content of quercetin and catechin in Airen grape juice supports its application in functional food production. **Foods**, v. 10, n. 7, p. 1532, 2021.

GLÓRIA, M. B. A. Bioactive amines. In H. Hui; L.L. Nollet. **Handbook of Food Science, Technology and Engineering**, v. 4, p. 1-38, 2005.

GOMEZ, H. A. G.; MARQUES, M. O. M.; BORGES, C. V.; MINATEL, I. O.; MONTEIRO, G. C.; RITSCHER, P. S.; ZANUS, M. C.; DIAMANTE, M. S.; KLUGE, R. A.; LIMA, G. P. P. Biogenic amines and the antioxidant capacity of juice and wine from Brazilian hybrid grapevines. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 75, n. 2, p. 258-264, 2020.

GRANATO, D.; CARRAPEIRO, M. M.; FOGLIANO, V.; RUTH, S. M. V. Effects of geographical origin, varietal and farming system on the chemical composition and functional properties of purple grape juices: a review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 52, p. 31-48, 2016.

GU, J.; LI, Z.; CHEN, H.; XU, X.; LI, Y.; GUI, Y. Neuroprotective effect of trans-resveratrol in mild to moderate Alzheimer disease: a randomized, double-blind trial. **Neurology and Therapy**, v. 10, n. 2, p. 905-917, 2021.

GUTIÉRREZ-GAMBOA, G.; MARÍN-SAN ROMÁN, S.; JOFRÉ, V.; RUBIO-BRETÓN, P.; PÉREZ-ÁLVAREZ, E. P.; GARDE-CERDÁN, T. Effects on chlorophyll and carotenoid contents in different grape varieties (*Vitis vinifera* L.) after nitrogen and elicitor foliar applications to the vineyard. **Food Chemistry**, v. 269, p. 380-386, 2018.

HAO, X.; GUAN, R.; HUANG, H.; YANG, K.; WANG, L.; WU, Y. Anti-inflammatory activity of cyanidin-3-O-glucoside and cyanidin-3-O-glucoside liposomes in THP-1 macrophages. **Food Science & Nutrition**, v. 9, n. 12, p. 6480-6491, 2021.

HELMER, D. A.; VAN DOREN, W. W.; LITKE, D. R.; TSENG, C. L.; HO, L.; OSINUBI, O.; PASINETTI, G. M. Safety, tolerability and efficacy of dietary supplementation with Concord grape juice in Gulf War veterans with Gulf War illness: a phase I/IIA, randomized, double-blind, placebo-controlled trial. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 10, p. 1-12, 2020.

IBAN-ARIAS, R.; SEBASTIAN-VALVERDE, M.; WU, H.; LYU, W.; WU, Q.; SIMON, J.; PASINETTI, G. M. Role of polyphenol-derived phenolic acid in mitigation of inflammasome-mediated anxiety and depression. **Biomedicines**, v. 10, n. 6, p. 1-20, 2022.

KAWADE, K.; TABETA, H.; FERJANI, A.; HIRAI, M. Y. The roles of functional amino acids in plant growth and development. **Plant and Cell Physiology**, v. 64, n. 12, p. 1482-1493, 2023.

KIMOKOTI, R. W.; MILLEN, B. E. Nutrition for the prevention of chronic diseases. **Medical Clinics of North America**, v. 100, n. 6, p. 1185-1198, 2016.

LATIF, S.; JAHANGEER, M.; RAZIA, D. M.; ASHIQ, M.; GHAFAR, A.; AKRAM, M.; EL ALLAM, A.; BOUYAHYA, A.; GARIPOVA, L.; SHARIATI, M. A.; THIRUVENGADAM, M.; ANSARI, M. A. Dopamine in Parkinson's disease. **Clinica Chimica Acta**, v. 522, p. 114-126, 2021.

LI, S. H.; TIAN, H. B.; ZHAO, H. J.; CHEN, L. H.; CUI, L. Q. The acute effects of grape polyphenols supplementation on endothelial function in adults: meta-analyses of controlled trials. **PLoS One**, v. 8, n. 7, p. 1-10, 2013.

LI, Z.; HOU, S.; ZHANG, H.; SONG, Q.; WANG, S.; GUO, H. Recent advances in fluorescent and colorimetric sensing for volatile organic amines and biogenic amines in food. **Advanced Agrochem**, v. 2, n. 1, p. 79-87, 2023.

MACKERT, J. D.; MCINTOSH, M. K. Combination of the anthocyanidins malvidin and peonidin attenuates lipopolysaccharide-mediated inflammatory gene expression in primary human adipocytes. **Nutrition Research**, v. 36, n. 12, p. 1353-1360, 2016.

MADEO, F.; BAUER, M. A.; CARMONA-GUTIERREZ, D.; KROEMER, G. Spermidine: a physiological autophagy inducer acting as an anti-aging vitamin in humans. **Autophagy**, v. 15, n. 1, p. 165-168, 2019.

MARTINS, N. C.; DORNELES, G. P.; BLEMBEEL, A. S.; MARINHO, J. P.; PROENÇA, I. C. T.; GOULART, M. J. V. C.; MOLLER, G. B.; MARQUES, E. P.; POCHMANN, D.; SALVADOR, M.; ELSNER, V.; PERES, A.; DANI, C.; RIBEIRO, J. L. Effects of grape juice consumption on oxidative stress and inflammation in male volleyball players: a randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial. **Complementary Therapies in Medicine**, v. 54, p. 1-9, 2020.

MCRAE, J. M.; SCHULKIN, A.; KASSARA, S.; HOLT, H. E.; SMITH, P. A. Sensory properties of wine tannin fractions: implications for in-mouth sensory properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 3, p. 719-727, 2013.

MIKKELSEN, N.; DAMKIER, P.; PEDERSEN, S. A. Serotonin syndrome – a focused review. **Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology**, v. 133, n. 2, p. 124-129, 2023.

MOLONIA, M. S.; QUESADA-LOPEZ, T.; SPECIALE, A.; MUSCARÀ, C.; SAIJA, A.; VILLARROYA, F.; CIMINO, F. In vitro effects of cyanidin-3-O-glucoside on inflammatory and insulin-sensitizing genes in human adipocytes exposed to palmitic acid. **Chemistry & Biodiversity**, v. 18, n. 12, p. 1-10, 2021.

MORENO-ARRIBAS, M. V.; POLO, M. C. **Wine chemistry and biochemistry**. New York: Springer, 2009.

MOTA, R. V.; AMORIM, D. A.; FÁVERO, A. N.; GLÓRIA, M. B. A.; REGINA, M. A. Caracterização físico-química e amins bioativas em vinhos da cv. Syrah I: efeito do ciclo de produção. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 2, p. 380-385, 2009.

NEEKHRA, S.; PANDITH, J. A.; MIR, N. A.; MANZOOR, A.; AHMAD, S.; AHMAD, R.; SHEIKH, R. A. Innovative approaches for microencapsulating bioactive compounds and probiotics: an updated review. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 46, p. 1-21, 2022.

ORTEGA-HERAS, M.; PÉREZ-MAGARIÑO, S.; DEL-VILLAR-GARRACHÓN, V.; GONZÁLEZ-HUERTA, C.; MORO GONZÁLEZ, L. C.; GUADARRAMA RODRÍGUEZ, A.; VILLANUEVA SANCHEZ, S.; GALLO GONZÁLEZ, R.; MARTÍN DE LA HELGUERA, S. Study of the effect of vintage, maturity degree, and irrigation on the amino acid and biogenic amine content of a white wine from the Verdejo variety. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 94, n. 10, p. 2073-2082, 2014.

OTT, T.; NIEDER, A. Dopamine and cognitive control in prefrontal cortex. **Trends in Cognitive Sciences**, v. 23, n. 3, p. 213-234, 2019.

PALEGO, L.; BETTI, L.; ROSSI, A.; GIANNACCINI, G. Tryptophan biochemistry: structural, nutritional, metabolic, and medical aspects in humans. **Journal of Amino Acids**, v. 2016, n. 1, p. 1-14, 2016.

QURESHI, M. A.; JAVED, S. Investigating binding dynamics of trans resveratrol to HSA for an efficient displacement of aflatoxin B1 using spectroscopy and molecular simulation. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 1-17, 2022.

RAGAB, A. E.; AL-MADBOLY, L. A.; AL-ASHMAWY, G. M.; SABER-AYAD, M.; ABO-SALF, M. A. Unravelling the in vitro and in vivo anti-Helicobacter pylori effect of delphinidin-3-O-glucoside rich extract from pomegranate exocarp: enhancing autophagy and downregulating TNF- α and COX2. **Antioxidants**, v. 11, n. 9, p. 1-20, 2022.

RAMPAZZO, G.; DEPAU, G.; PAGLIUCA, G.; ZIRONI, E.; SERRAINO, A.; SAVINI, F.; GAZZOTTI, T. A rapid LC-MS/MS method for quantification of biogenic amines in meat: validation and application for food safety monitoring. **Methods and Protocols**, v. 8, n. 5, p. 1-10, 2025.

RESTUCCIA, D.; LOIZZO, M. R.; SPIZZIRRI, U. G. Accumulation of biogenic amines in wine: role of alcoholic and malolactic fermentation. **Fermentation**, v. 4, n. 1, p. 1-18, 2018.

RUIZ-CAPILLAS, C.; HERRERO, A. M. Impact of biogenic amines on food quality and safety. **Foods**, v. 8, n. 2, p. 1-16, 2019.

SABRA, A.; NETTICADAN, T.; WIJEKOON, C. Grape bioactive molecules, and the potential health benefits in reducing the risk of heart diseases. **Food Chemistry**: X, v. 12, p. 1-13, 2021.

SAGAR, N. A.; TARAFDAR, S.; AGARWAL, S.; TARAFDAR, A.; SHARMA, S. Polyamines: functions, metabolism, and role in human disease management. **Medical Sciences**, v. 9, n. 2, p. 1-21, 2021.

SAHA TURNA, N.; CHUNG, R.; MCINTYRE, L. A review of biogenic amines in fermented foods: occurrence and health effects. **Heliyon**, v. 10, n. 2, p. 1-12, 2024.

SANDOVAL-RAMÍREZ, B. A.; CATALÁN, U.; LLAURADÓ, E.; VALLS, R. M.; SALAMANCA, P.; RUBIÓ, L.; YUSTE, S.; SOLÀ, R. The health benefits of anthocyanins: an umbrella review of systematic reviews and meta-analyses of observational studies and controlled clinical trials. **Nutrition Reviews**, v. 80, n. 6, p. 1515-1530, 2022.

SEMJON, B.; BARTKOVSKÝ, M.; OČENÁŠ, P.; REGEČOVÁ, I.; MEGYESY EFTIMOVÁ, Z.; VÝROSTKOVÁ, J.; MESARČOVÁ, L.; KOVÁČOVÁ, M.; VÁRADY, M.; ŠULÁKOVÁ, L.; MARCINČÁK, S. The impact of grape maceration on quality and biogenic amine formation in Slovak Tokaj wines: examination of microbial, chemical and sensory properties. **Fermentation**, v. 11, n. 1, p. 1-20, 2025.

SHAGHAGHI, M. A.; KLOSS, O.; ECK, P. Genetic variation in human vitamin C transporter genes in common complex diseases. **Advances in Nutrition**, v. 7, n. 2, p. 287-298, 2016.

SHARMA, H.; SAPKOTA, H. P.; KHANAL, A.; DHAKAL, O.; GURUNG, R. A comparative analysis of vitamin-c concentration in commercial fruit juices and fresh fruits of nepal with effect of temperature. **International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences**, v. 11, n. 8, p. 46-51, 2019.

SKOLMOWSKA, D.; GŁĄBSKA, D. Effectiveness of dietary intervention with iron and vitamin C administered separately in improving iron status in young women. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 19, p. 1-19, 2022.

SMITH-CORTINEZ, N.; FAGUNDES, R. R.; GOMEZ, V.; KONG, D.; DE WAART, D. R.; HEEGSMMA, J.; SYDOR, S.; OLINGA, P.; DE MEIJER, V. E.; TAYLOR, C. T.; BANK, R.; PAULUSMA, C. C.; FABER, K. N. Collagen release by human hepatic stellate cells requires vitamin C and is efficiently blocked by hydroxylase inhibition. **The FASEB Journal**, v. 35, n. 2, p. 1-13, 2021.

SUN, B.; LI, F.; ZHANG, X.; WANG, W.; SHAO, J.; ZHENG, Y. Delphinidin-3-O-glucoside, an active compound of *Hibiscus sabdariffa* calyces, inhibits oxidative stress and inflammation in rabbits with atherosclerosis. **Pharmaceutical Biology**, v. 60, n. 1, p. 247-254, 2022.

VISCIANO, P.; SCHIRONE, M. Update on biogenic amines in fermented and non-fermented beverages. **Foods**, v. 11, n. 3, p. 1-13, 2022.

WISE, R. A.; JORDAN, C. J. Dopamine, behavior, and addiction. **Journal of Biomedical Science**, v. 28, n. 1, p. 1-9, 2021.

XIA, N.; DAIBER, A.; FÖRSTERMANN, U.; LI, H. Antioxidant effects of resveratrol in the cardiovascular system. **British Journal of Pharmacology**, v. 174, n. 12, p. 1633-1646, 2017.

XIAO, Y.; TANG, Y.; HUANG, X.; ZENG, L.; LIAO, Z. Integrated transcriptomics and metabolomics analysis reveal anthocyanin biosynthesis for petal color formation in *Catharanthus roseus*. **Agronomy**, v. 13, n. 9, p. 1-15, 2023.

YU, J.; YUE, Y.; ZHANG, J.; JIA, Z.; YANG, J. Advances in technologies to detect histamine in food: principles, applications, and prospects. **Trends in Food Science & Technology**, v. 146, p. 1-15, 2024.

ELABORAÇÃO DE SORBET DE ABACAXI COM ADIÇÃO DE KOMBUCHA OBTIDA A PARTIR DE CHÁ VERDE (*CAMELLIA SINENSIS*)

Daniel Barbosa dos Santos

Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF)

Maria Geovana de Jesus Lopes

Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF)

Mariana Schievano Danelon

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Brasília (IFB)

RESUMO

Objetivo: Testar a viabilidade tecnológica do uso da kombucha em sobremesas congeladas, e ampliar o portfólio de opções saudáveis e acessíveis no segmento de gelados comestíveis. **Métodos:** O chá verde fermentado foi preparado a partir da infusão de chá verde adoçado, que após o resfriamento recebeu o chá de arranque e o SCOBY para fermentação durante sete dias em temperatura ambiente controlada. O chá resultante foi utilizado na elaboração de sorbets de abacaxi, produzidos em três versões: uma sem adição do chá fermentado, outra com 10% adicionado e uma terceira com 20% de kombucha. Todos os sorbets foram feitos com polpa natural de abacaxi, açúcar, emulsificante e ácido cítrico, variando apenas a proporção de água e chá fermentado entre as formulações. As amostras foram avaliadas quanto ao pH, teor de sólidos solúveis, velocidade de derretimento e aspectos sensoriais. **Resultados:** Os resultados demonstraram que as formulações com adição de kombucha apresentaram menor pH em comparação ao sorbet controle, confirmando a influência da fermentação sobre as propriedades químicas do produto. Do ponto de vista sensorial, o sorbet com adição de 10% de kombucha assemelhou-se à amostra controle quanto à aceitação de forma global. **Conclusão:** Embora o sorbet sem kombucha tenha tido maior apelo de compra junto aos consumidores, nota-se que há potencial mercadológico para o uso da kombucha em gelados comestíveis.

Palavras-chave: Aceitação; sorvete; probiótico.

INTRODUÇÃO

Kombucha é uma bebida originária do nordeste da China. Levemente ácida e gaseificada, é obtida a partir da fermentação de bactérias e leveduras em um substrato, sendo usado principalmente folhas de chá verde, chá preto e chá oolong (Kapp; Sumner, 2019).

A kombucha tem se tornado bastante popular recentemente, a exemplo de outros alimentos fermentados (Kapp; Sumner, 2019). Tal popularidade está associada aos efeitos benéficos à saúde, atribuídos ao seu consumo regular, como a propriedade probiótica e o efeito desintoxicante. Estes efeitos decorrem da presença de microrganismos, como bactérias acéticas – *Acetobacter xylinum* e *Bacterium gluconicum*, e leveduras – *Schizosaccharomyces pombe* e *Zygosaccharomyces bailii*; dos compostos formados durante a fermentação, como antibióticos naturais, aminoácidos, compostos fenólicos, ácidos orgânicos e vitaminas solúveis, como as do complexo B; e das propriedades dos chás utilizados como substrato da fermentação (Dufresne; Farnworth, 2000).

Apesar de a bebida ser amplamente comercializada no formato gaseificado, com adição ou não de sucos de diversos sabores, o seu uso para confecção de outros alimentos ainda é pouco explorado.

Há um segmento de mercado em expansão composto por consumidores que buscam incorporar opções alimentares mais saudáveis em sua dieta (Instituto de Tecnologia de Alimentos – ITAL, 2010). Os gelados comestíveis, categoria de produtos alimentícios que inclui sorvetes, sorbets e sherbets, por exemplo, são bastante populares, mas no mercado ainda são poucas as formulações disponíveis destes alimentos que sejam menos calóricas ou que sejam consideradas como opções mais saudáveis.

Entre os tipos de gelados comestíveis, o sorbet destaca-se neste aspecto de saudabilidade, porque deve ser composto primariamente por sucos e/ou polpa de frutas. O abacaxi é um exemplo de fruta que pode ser utilizada no preparo de sorbet, por apresentar sabor agradável, refrescante, além de ser fonte de vitaminas e minerais como cálcio, potássio e magnésio. Opcionalmente, os sorbets podem conter outros compostos, como extratos fermentados, consistindo em opção mais saudável aos sorvetes comuns. Entre os extratos fermentados, a adição da kombucha pode conferir ao produto maior valor agregado.

Uma vez que a inovação é um elemento estratégico para a competitividade e a sustentabilidade das empresas, a identificação de tendências e de sinais de mercado assume papel central no processo de adaptação às expectativas dos consumidores e na melhoria contínua de produtos.

Neste trabalho, buscou-se desenvolver sorbets de abacaxi com diferentes proporções de kombucha, obtida a partir da fermentação de chá verde, caracterizando-os quanto a aspectos físico-químicos e sensoriais, de forma a contribuir para o desenvolvimento de novos produtos mais saudáveis, que atendam à demanda de grande parte dos consumidores.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em etapas. Inicialmente, realizou-se a fermentação da kombucha a partir de chá verde (*Camellia sinensis* v.). Na sequência, o chá fermentado de kombucha foi empregado na elaboração das formulações de sorbet de abacaxi. Posteriormente, efetuaram-se as análises físico-químicas, abrangendo a determinação do pH, dos sólidos solúveis totais e da velocidade de derretimento, bem como as análises sensoriais, que incluíram os testes de aceitação e de intenção de compra.

Todas as etapas experimentais foram realizadas nas unidades de processamento e laboratórios do Instituto Federal de Brasília (IFB), *Campus Gama*.

Obtenção do SCOBY da kombucha

O SCOBY utilizado na produção da kombucha (Figura 1) era de linhagem americana (White Labs WLP 600), apresentando diâmetro de 8 cm e acompanhado de 30 mL do chá *starter* (chá de arranque previamente fermentado pelo próprio consórcio microbiano). O material foi adquirido em embalagem a vácuo junto à empresa “kombuchaBR.com”, a qual forneceu certificado de procedência contendo a identificação dos microrganismos presentes.

A kombucha apresentava em sua composição leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*, *Zygosaccharomyces* sp., *Brettanomyces bruxellensis* e *Candida* sp.) e bactérias fermentadoras (*Bacillus pumillus/aerophilus/safensis/altitudinis*, *Acetobacter tropicalis*, *Bacillus aerophilus*, *Bacillus aryabhattai*, *Gluconacetobacter*

saccharivorans, *Micrococcus* sp., *Gluconacetobacter rhaeticus*, *Paenibacillus taichungensis*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis* e *Bacillus cereus* – cepa não patogênica).

A empresa também atestou que o SCOBY encontrava-se microbiologicamente seguro, não apresentando contaminação por microrganismos patogênicos, como *Staphylococcus aureus*, bactérias entéricas, *Escherichia coli*, *Salmonella* ssp., *Salmonella typhi* e *Listeria monocytogenes*.

Figura 1 - SCOBY de kombucha (White Labs WLP 600), adquirido de empresa nacional.



Fonte: foto dos autores (2023).

Reativação das colônias microbianas do SCOBY

O cultivo inicial da kombucha, destinado à reativação de suas colônias microbianas, foi conduzido conforme as instruções contidas no manual técnico fornecido pela empresa produtora do SCOBY.

Para o preparo do chá base, 300mL de água filtrada foram aquecidos até a ebulição, sendo então adicionados 20g de açúcar refinado, com manutenção da fervura por 2 minutos, a fim de eliminar a carga microbiana. Em seguida, foram incorporados 20g de chá verde (*Camellia sinensis*) marca Amaya®, produzido na região do Vale do Ribeira, a partir das folhas e ramos da planta, permanecendo em infusão por 10 minutos.

Decorrido esse período, as folhas de chá verde foram removidas por filtração, utilizando-se peneira de malha fina. O chá coado foi colocado em recipiente de vidro e deixado resfriar até atingir $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Ao chá resfriado foram adicionados 30 mL de chá *starter* (ou chá de arranque, previamente fermentado). Após homogeneização, o SCOBY foi adicionado ao recipiente de vidro, o qual foi coberto com papel toalha fixado por elástico, permitindo trocas gasosas.

O recipiente foi mantido em banho-maria, assegurando a temperatura constante de 27°C (Figura 2), durante o período de 10 dias de fermentação. O pH da bebida foi monitorado diariamente para acompanhamento da evolução fermentativa. Ao término do processo, o produto apresentou pH entre 3,0 e 4,0, valores compatíveis com os parâmetros recomendados pelo fornecedor.

Figura 2 - Procedimento de fermentação para reativação das colônias do SCOBY.



Fonte: foto dos autores (2023).

Obtenção da kombucha a partir da fermentação do chá verde

Após a reativação das colônias microbianas do SCOBY, foram conduzidos, ao longo de seis meses, diversos testes de fermentação, com o objetivo

de obter uma bebida fermentada com características sensoriais adequadas à incorporação nas formulações de sorbet.

Em todos os testes foi utilizado como substrato o chá verde (*Camellia sinensis*) da marca Amaya®. Testaram-se diferentes proporções de chá, açúcar e água empregados no cultivo da kombucha, bem como distintas condições de tempo e de temperatura de fermentação, a fim de determinar o processo mais adequado.

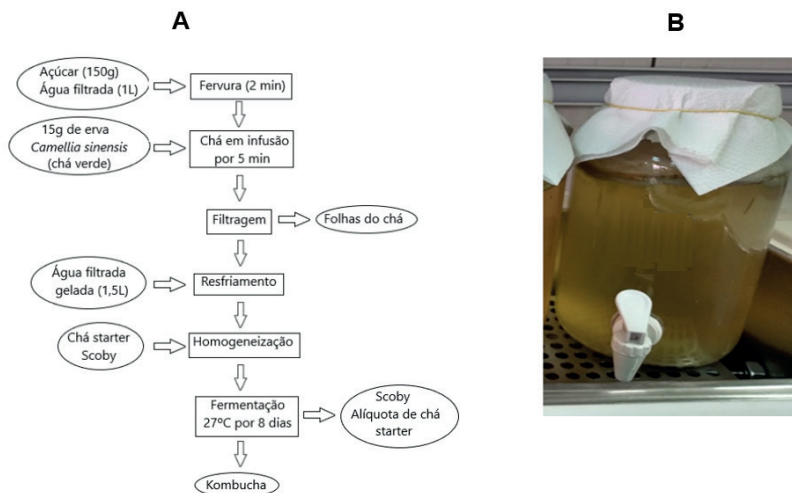
Definiu-se o procedimento ideal para preparo do chá fermentado, conforme representado no Fluxograma 1 e descrito a seguir.

Inicialmente 1 L de água filtrada foi aquecido até a ebulição, sendo então adicionados 150 g de açúcar refinado, com manutenção da fervura por 2 minutos. Em seguida, foram incorporados 15 g de chá verde (*Camellia sinensis*), permanecendo em infusão por 5 minutos.

Decorrido esse período, as folhas foram retiradas por filtragem, utilizando-se peneira de malha fina, e, posteriormente, 1,5 L de água gelada foram adicionados ao chá coado em um recipiente de vidro com capacidade para 3 L, promovendo o resfriamento até temperatura inferior a 30°C.

Ao chá resfriado, adicionaram-se 150 mL de chá de arranque (*starter*). Após homogeneização, o SCOBY, com 14 cm de diâmetro e 1,5 cm de espessura, foi introduzido no recipiente de vidro, o qual foi coberto com papel toalha fixado por elástico, permitindo a aeração controlada (Figura 3). O recipiente permaneceu em fermentação à temperatura de 27°C ($\pm 2^\circ\text{C}$), durante período de 8 dias.

Figura 3 - Produção de kombucha de chá verde: (a) fluxograma do processo; (b) fotografia do fermentado.



Fonte: elaborado pelos autores (2023).

Elaboração das formulações de sorbet de abacaxi

Os frutos de abacaxi, da cultivar Pérola, foram adquiridos em estabelecimento comercial local, sendo selecionados de acordo com o grau de maturação adequado ao processamento. Após a seleção, os frutos foram higienizados, descascados e processados em liquidificador industrial da marca Vitalex®, obtendo-se a polpa, que foi posteriormente peneirada para remoção de fibras e resíduos sólidos.

Nas formulações dos sorbets, todos os ingredientes tiveram a massa medida em balança semianalítica da marca Shimadzu® ou digital da marca Urano®. Três formulações foram elaboradas, conforme apresentado na Tabela 1:

- Sorbet denominado "controle": elaborado sem a adição da kombucha, composto por 48,5% de água filtrada, 30% de polpa de abacaxi, 20% de açúcar refinado, 1,4% de emulsificante (BAF 10) e 0,1% de ácido cítrico.
- Sorbet denominado "10% de kombucha": preparado com a substituição de 10% de água filtrada pela bebida fermentada (kombucha), obtida a partir de chá verde, conforme descrito no item anterior.

c) Sorbet denominado “20% de kombucha”: desenvolvido com a substituição de 20% de água filtrada pela bebida fermentada (kombucha), obtida a partir de chá verde, conforme descrito no item anterior.

As formulações foram desenvolvidas de modo a manter constante a proporção de polpa e de açúcar, variando-se apenas o percentual de substituição da água pela kombucha.

Tabela 1 - Formulações dos sorbets de abacaxi.

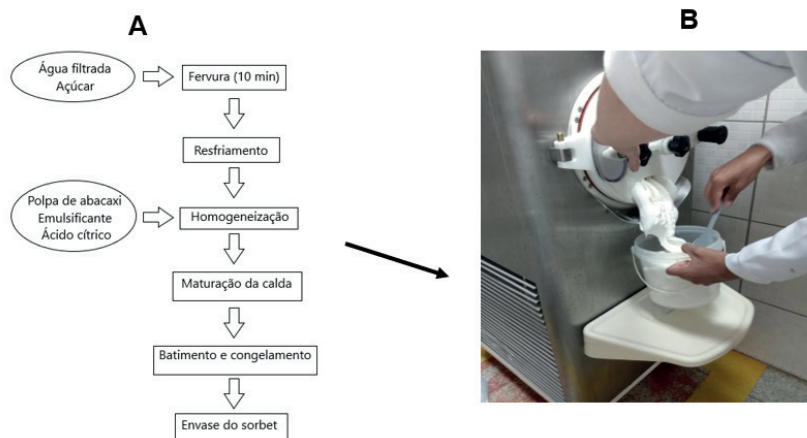
Ingredientes	Controle	10% de kombucha	20% de kombucha
Água filtrada	48,50%	38,50%	28,50%
Polpa de abacaxi	30%	30%	30%
Açúcar refinado	20%	20%	20%
Kombucha	0%	10%	20%
Emulsificante	1,40%	1,40%	1,40%
Ácido cítrico	0,10%	0,10%	0,10%

Fonte: elaborado pelos autores (2023).

Os três sorbets foram elaborados com o seguinte procedimento: inicialmente, a água filtrada e o açúcar foram aquecidos até a ebulição, mantendo-se por 10 minutos. Após o resfriamento da calda, foram adicionados os demais ingredientes, os quais foram homogeneizados em liquidificador industrial.

Em seguida, a mistura foi mantida sob refrigeração para o processo de maturação por um período de 2 horas. Após esse intervalo, o conteúdo foi transferido para uma sorveteira industrial da marca Finamac®, onde ocorreu o batimento e o congelamento rápido, até atingir a temperatura de -7,6°C (Figura 6). Por fim, os sorbets foram envasados em embalagens de polipropileno e armazenados em freezer a -18°C, até o momento das análises.

Figura 4 - Sorbet de abacaxi: (A) fluxograma do processo; (B) fotografia do processamento em sorveteira industrial.



Fonte: elaborado pelos autores (2023).

Análises físico-químicas da kombucha e das formulações de sorbet

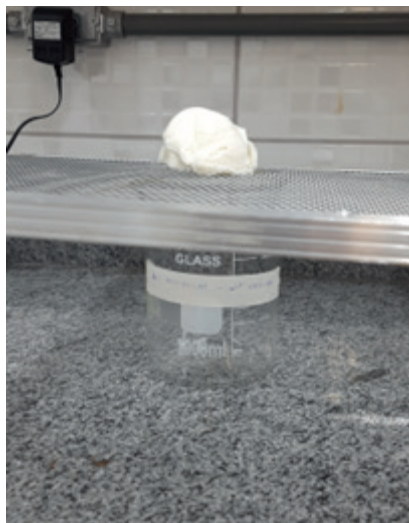
A kombucha e as três formulações de sorbet de abacaxi foram submetidas às análises de pH e teor de sólidos solúveis. Para as amostras de sorbet, também foi avaliada a velocidade de derretimento.

A determinação do pH foi realizada utilizando um pHmetro de bancada digital, modelo AT 355 da marca Alfakit®, seguindo os procedimentos recomendados pelo Instituto Adolfo Lutz (2008). O aparelho foi previamente calibrado antes da medição. O teor de sólidos solúveis (°Brix) foi determinado por meio de refratômetro digital, modelo HI 96801 da marca HANNA.

A velocidade de derretimento foi avaliada com base no método de Granger *et al.* (2005), com adaptações específicas. Foram retiradas amostras de 50 g das três formulações de sorbet, em três repetições, mantidas inicialmente a -18°C. As amostras foram posicionadas sobre telas de arame com furos de 0,5 cm², apoiadas em béqueres à temperatura ambiente, que variou entre 23,6°C e 26,4°C, com Umidade Relativa entre 36% e 42% (Figura 5).

Registrou-se o tempo até a ocorrência da primeira gota de derretimento e, em seguida, pesou-se a massa derretida depositada nos béqueres a cada 10 minutos, até atingir valor constante de massa, determinando-se, assim, a velocidade de derretimento de cada formulação.

Figura 5 - Amostra de sorbet de abacaxi sobre tela de arame e béquer para avaliação da velocidade de derretimento.



Fonte: foto dos autores (2023).

Planejamento e aplicação dos testes sensoriais

Para a realização dos testes sensoriais de aceitação e de intenção de compra, foi elaborada uma ficha de avaliação composta por duas seções. Na primeira, cada provador experimentou as amostras e expressou sua percepção em uma escala hedônica estruturada de 9 pontos, na qual 1 corresponde a “desgostei muitíssimo” e 9 a “gostei muitíssimo”, avaliando cada característica sensorial, incluindo aparência, odor, sabor, consistência e aceitação de forma geral. Na segunda seção, os provadores indicaram a intenção de compra, caso o produto estivesse disponível no mercado, utilizando uma escala estruturada de 5 pontos, em que 1 significava “certamente não compraria” e 5 “certamente compraria”.

Cada provador realizou a avaliação em cabines individualizadas com condições ambientais controladas. As amostras de sorbet foram servidas de forma monádica, para evitar o derretimento rápido do produto, em copos plásticos de 50 mL contendo porções aproximadas de 30g, acompanhadas de pazinha plástica e copo com água, para neutralização do paladar entre as amostras. Para minimizar vieses, adotou-se balanceamento pré-definido, no qual se buscou garantir que todas as amostras fossem servidas em posições

distintas. Padronizou-se a codificação das amostras com códigos de três dígitos extraídos de tabela de números ao acaso.

Os testes sensoriais foram conduzidos em laboratório, no mês de julho de 2023, com um grupo de 73 provadores não treinados, composto por estudantes, professores e demais servidores do *Campus Gama*.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Resultados dos testes de fermentação para obtenção da bebida de kombucha a ser utilizada nos sorbets

Verificou-se que, à medida que se reduzia a quantidade de chá e seu tempo de infusão, concomitantemente ao aumento da proporção de açúcar, o extrato fermentado de kombucha apresentava características mais suaves, incluindo coloração mais clara e sabor menos amargo e ácido. No oitavo dia de fermentação, a bebida de kombucha apresentou sabor agradável, caracterizado por acidez equilibrada e levemente adocicado, discreta carbonatação e ausência de odor acético intenso, sendo considerada adequada para incorporação nas formulações de sorbet de abacaxi, sem necessidade de pasteurização prévia.

Análises físico-químicas da kombucha e dos sorbets de abacaxi

Conforme apresentado na Tabela 2, a kombucha apresentou um pH médio de $2,67 \pm 0,08$, situando-se dentro do intervalo estabelecido pela IN nº 41/2019 do MAPA (2,5–4,2) e compatível com os valores (2,5–3,5) reportados para bebidas comerciais à base de chá verde (Brasil, 2019; Chew, 2024; Suhre, 2020).

Tabela 2 - Caracterização de pH e °Brix da kombucha e dos sorbets de abacaxi.

Parâmetros físico-químicos	Kombucha obtida a partir do chá verde (média ± desvio padrão)	Sorbet de abacaxi (média ± desvio padrão)		
		Controle	10% kombucha	20% kombucha
pH	$2,67 \pm 0,08a$	$3,11 \pm 0,09c$	$2,92 \pm 0,04b$	$2,89 \pm 0,04b$
Sólidos solúveis (°Brix)	$6,37 \pm 0,06a$	$28,97 \pm 0,06c$	$28,13 \pm 0,12b$	$28,17 \pm 0,15b$

Notas: Cada valor representa a média para as triplicatas.

Na mesma linha, médias com letras em comum indicam que não há diferença significativa ao nível de 5%.

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Os sorbets apresentaram valores de pH entre 2,89 e 3,11, caracterizando-se como produtos ácidos — condição que favorece a estabilidade microbiana, embora valores de pH muito baixos possam comprometer a aceitação sensorial. No estudo de Chew (2024), o sorbet de kombucha com inulina sabor pêssego apresentou pH de $2,90 \pm 0,01$, resultado bastante próximo ao observado neste trabalho.

As formulações de sorbet contendo kombucha exibiram pH significativamente inferior ao da amostra controle, sem diferença estatística entre as versões com 10% e 20% de kombucha. Tal comportamento era esperado, em razão do baixo pH característico da bebida fermentada.

Além da influência da kombucha, a acidez natural do abacaxi também contribuiu para os valores reduzidos observados, inclusive na formulação controle. Brasil *et al.* (2016) relataram que o pH de polpas de abacaxi variou entre 3,20 e 3,68, evidenciando o caráter naturalmente ácido dessa fruta.

Comparativamente, sorbets elaborados com outras frutas geralmente apresentam pH mais elevado: 4,49 a 4,67 para polpa de juçara (Marinho, 2016), 4,18 a 4,31 com diferentes combinações de uva e maçã (Lieira, 2017) e 3,8 a 4,7 para combinações de suco de tomate e de limão, com redução do pH à medida que se aumenta a proporção de suco de limão (Ramadhany; Irawan, 2022). De acordo com Cruz *et al.* (2009) e Pinheiro (2008), considerando que os sorbets não contêm leite em sua formulação e têm como base a polpa de frutas, seja de sucos naturais ou concentrados, o pH final do produto depende, em grande medida, da variedade da fruta utilizada no preparo do gelado.

Quanto aos sólidos solúveis, a kombucha apresentou valor médio de $6,37 \pm 0,06$ °Brix, resultado muito próximo ao reportado por Chew (2024) para a kombucha elaborada com chá verde, cujo teor foi de $6,5 \pm 0,01$ °Brix.

Nos sorbets, os teores variaram entre 28,13 e 28,97 °Brix (Tabela 3), resultados semelhantes aos relatados em outros estudos: entre 23,57 e 29,32 °Brix para sorbets elaborados com polpa de juçara (Marinho, 2016) e entre 27,90 e 29,15 °Brix para formulações com sucos de tomate e limão (Ramadhany; Irawan, 2022).

Os valores de °Brix obtidos para os sorbets situaram-se dentro da faixa recomendada para esse tipo de produto (25–32 °Brix), considerada ideal para conferir doçura equilibrada, favorecer a formação de cristais de gelo menores e promover a incorporação de bolhas de ar de menor tamanho, resultando em

uma textura mais cremosa e agradável (Migoya, 2008). Por outro lado, teores superiores a 32 °Brix tendem a produzir um sorbet pegajoso, enquanto valores inferiores a 25 °Brix resultam em textura excessivamente firme (Migoya, 2008; Ramadhany; Irawan, 2022).

Observou-se, contudo, que as formulações contendo kombucha apresentaram valores ligeiramente inferiores de sólidos solúveis em relação à amostra controle, embora todas tenham recebido as mesmas proporções de sacarose, polpa e ácido cítrico – diferindo apenas pela substituição parcial de água por kombucha. Uma possível explicação para esse resultado é o consumo parcial da sacarose durante a etapa de maturação a frio da calda (2 h), em decorrência da atividade metabólica dos microrganismos presentes na kombucha. De forma semelhante, Chew (2024) relatou uma redução significativa ($p<0,05$) no valor de °Brix da kombucha de chá verde ao longo do processo fermentativo. Recomenda-se que estudos futuros avaliem o teor de sólidos solúveis antes e após a maturação, a fim de confirmar essa hipótese.

Com relação ao comportamento dos sorbets durante o derretimento, os dados apresentados na Tabela 3 e no Gráfico 1 indicam que a primeira gota surgiu aos 3,33 minutos na amostra controle e pouco após 4 minutos nas formulações contendo kombucha, sem diferenças significativas entre as amostras no período avaliado.

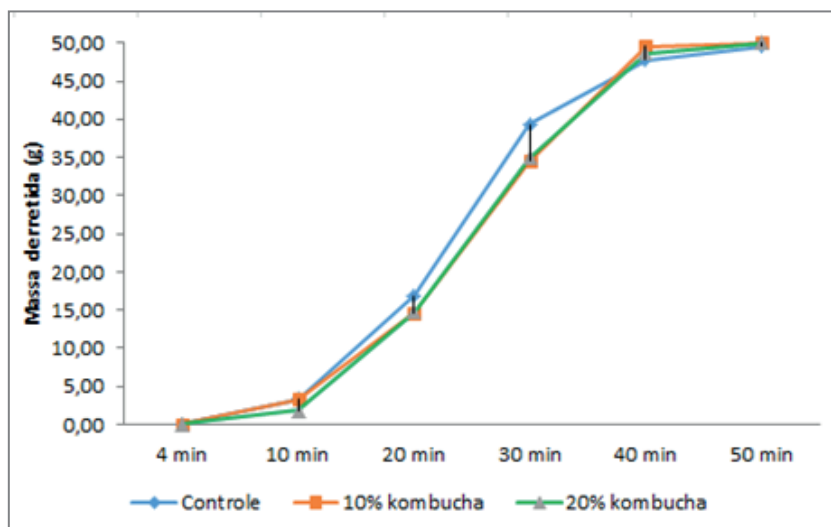
Tabela 3 - Velocidade de derretimento dos sorbets de abacaxi.

Sorbets de abacaxi	Primeira gota (em min)	% de massa derretida ($\pm$ desvio padrão)				
		Após 10 min	Após 20 min	Após 30 min	Após 40 min	Após 50 min
Controle	3,33a $\pm$ 3,15	6,53a $\pm$ 2,80	33,87a $\pm$ 13,12	78,70a $\pm$ 23,12	95,53a $\pm$ 4,09	91,42a $\pm$ 11,29
10% de kombucha	4,37a $\pm$ 0,75	6,69a $\pm$ 4,63	29,32a $\pm$ 3,95	68,95a $\pm$ 8,38	99,05a $\pm$ 0,80	100,00a $\pm$ 0,00
20% de kombucha	4,47a $\pm$ 1,35	3,79a $\pm$ 1,10	29,46a $\pm$ 4,63	70,01a $\pm$ 7,40	97,32a $\pm$ 1,03	100,00a $\pm$ 0,00

Na mesma coluna, médias com letras em comum indicam que não há diferença significativa ao nível de 5%.

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Gráfico 1 - Derretimento da massa de sorbet ao longo do tempo.



Fonte: dados da pesquisa (2023).

Após 30 minutos, o controle exibiu maior fração derretida (78,7%) em comparação às amostras com 20% (70,0%) e 10% de kombucha (68,9%), mas a variabilidade entre repetições impediu a detecção de diferenças estatisticamente significativas. Em 40 minutos, mais de 90% da massa havia derretido em todas as formulações.

Apesar da efervescência típica da kombucha, sua incorporação não alterou de forma significativa a taxa de derretimento. O comportamento de derretimento observado nas formulações foi condizente com o registrado em produtos à base de água, nos quais o baixo teor de gordura — ao contrário dos sorvetes lácteos — reduz a estruturação físico-química da matriz e acelera o derretimento (Rybak, 2016; Ramadhany; Irawan, 2022).

Aceitação sensorial e intenção de compra

Considerando a aceitação sensorial global – parâmetro em que as características do produto são avaliadas em conjunto pelo provador (Tabela 4), o sorbet controle (média = 7,51) e o sorbet contendo 10% de kombucha (média = 7,27) situaram-se entre as categorias “gostei moderadamente” e “gostei muito”,

não diferindo estatisticamente entre si. Esses resultados indicam boa aceitação para ambas as formulações.

A amostra contendo 20% de kombucha obteve nota média de 6,81, correspondente ao intervalo entre “gostei ligeiramente” e “gostei moderadamente”, diferindo estatisticamente do controle, mas não do sorbet com 10% de adição de kombucha.

Tabela 4 - Médias das notas atribuídas pelos provadores quanto à aceitação sensorial das amostras de sorbet de abacaxi.

Sorbet	Notas médias atribuídas pelos provadores				
	Aceitação global	Aparência	Odor	Sabor	Consistência
Controle	7,51b	7,42a	7,48b	7,70b	7,16b
10% de kombucha	7,27ab	7,52a	6,86a	7,00a	7,22b
20% de kombucha	6,81a	7,19a	6,66a	6,86a	6,63a

*Em uma mesma coluna, médias com letras em comum indicam que não houve diferenças significativas entre as amostras, ao nível de 5% de significância, por meio da Anova seguida do teste de Tukey.

**Escala usada variou de 1 = desgostei muitíssimo a 9 = gostei muitíssimo.

Fonte: dados da pesquisa (2023).

Analisando individualmente os atributos sensoriais, a aparência foi bem avaliada em todas as amostras (notas > 7), sem diferenças significativas entre elas. Esse resultado indica que aspectos como coloração, comportamento durante o derretimento e textura visual foram satisfatórios e bem aceitos pelos provadores.

Nos atributos de odor e sabor, entretanto, a amostra controle apresentou médias superiores às formulações com kombucha. Comentários dos provadores indicaram odor “forte/desagradável” na amostra com 20% de kombucha, sugerindo que compostos ácidos voláteis de natureza ácida, resultantes da fermentação acética, possam ter influenciado negativamente a percepção olfativa.

No atributo sabor, diversos avaliadores relataram “pouco sabor de abacaxi” em todas as formulações, o que provavelmente contribuiu para que as notas não fossem mais elevadas, inclusive no sorbet controle. A menor aceitação observada nas formulações contendo kombucha parece estar relacionada à maior acidez desses sorbets, conforme evidenciado pelas diferenças de pH (Tabela 3). Curiosamente, alguns provadores demonstraram preferência pela amostra com 10% de kombucha, possivelmente por associarem a acidez característica

da bebida fermentada ao frescor ácido esperado do abacaxi – embora a quantidade de polpa tenha sido idêntica em todas as formulações.

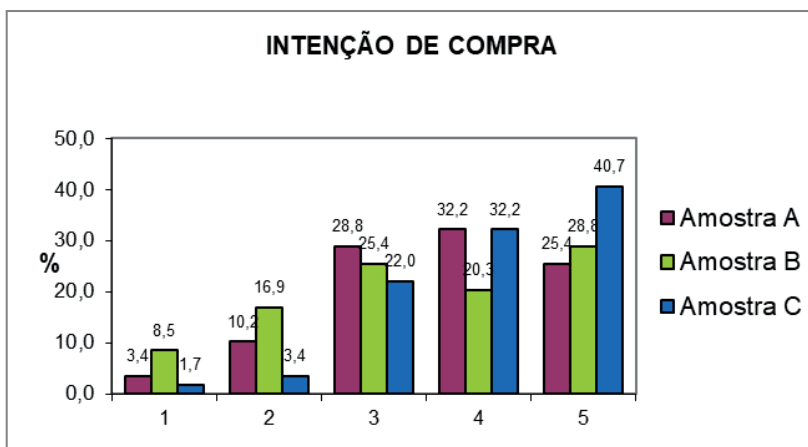
No atributo consistência, o controle e a formulação com 10% de kombucha não diferiram entre si, obtendo as maiores médias, enquanto o sorbet com 20% apresentou menor aceitação. É possível que a adição de kombucha na proporção de 20% tenha contribuído para tornar a massa do sorbet mais espumosa e menos consistente, em razão da efervescência característica da bebida, resultante da produção de dióxido de carbono durante o processo fermentativo, o que foi avaliado de forma negativa pelos provadores.

Observou-se, ainda, a menção recorrente à textura “gelatinosa” ou “esponjosa” nas três amostras, característica possivelmente associada ao nível de emulsificante utilizado. Recomenda-se testar concentrações menores desse ingrediente em formulações futuras.

Resultados semelhantes foram relatados por Marinho (2016) em gelado aquoso contendo culturas probióticas e simbióticas, no qual a “textura de espuma” também foi alvo de críticas — fenômeno que pode ser intensificado pela comparação natural feita pelos consumidores com sorvetes lácteos, cuja cremosidade é favorecida pela interação entre lipídios e ar incorporado.

A intenção de compra (Gráfico 2) acompanhou o padrão de aceitação: somando as respostas “provavelmente compraria” e “certamente compraria”, o sorbet controle foi indicado por 72,9% dos provadores, seguido pela formulação com 10% de kombucha (indicada por 57,6%) e, por fim, a amostra com 20% de kombucha, que obteve 49,1% de intenção de compra.

Gráfico 2 - Distribuição percentual dos provadores de acordo com a intenção de compra das amostras de sorbet.



Notas: Amostra A = sorbet com 10% de kombucha;

Amostra B = sorbet com 20% de kombucha;

Amostra C = controle;

****Eixo das abscissas** corresponde à escala de intenção de compra, sendo 1 = certamente não compraria, 2 = provavelmente não compraria, 3 = talvez comprasse talvez não comprasse, 4 = provavelmente compraria e 5 = certamente compraria.

Fonte: dados da pesquisa (2023).

Considerando o desempenho sensorial, os parâmetros físico-químicos e o potencial de mercado, a formulação com 10% de kombucha revela-se a alternativa mais promissora. Esta formulação mantém aceitação global semelhante à do controle, preserva acidez e perfil de °Brix adequados, e não altera significativamente o comportamento durante o derretimento, ao mesmo tempo em que incorpora o diferencial funcional proporcionado pela bebida fermentada.

CONCLUSÃO

Do ponto de vista físico-químico, observou-se que a adição de kombucha influenciou diretamente o pH dos sorbets, tornando-os mais ácidos, o que pode contribuir para uma maior estabilidade microbiológica. Os teores de sólidos solúveis mantiveram-se dentro da faixa recomendada para sorbets, assegurando a doçura equilibrada e a textura desejada. Embora o derretimento tenha sido rápido em todas as formulações — característica comum em produtos à base de água —, a presença da kombucha não alterou significativamente esse comportamento.

A avaliação sensorial revelou que a formulação com 10% de kombucha foi bem aceita, apresentando desempenho próximo ao do sorbet controle e maior intenção de compra em comparação com a versão com 20% da bebida fermentada. Esse resultado sugere que a kombucha pode ser utilizada em proporções moderadas, conferindo um perfil sensorial distinto, marcado por acidez equilibrada e notas fermentadas.

Além dos aspectos técnicos, este trabalho reforça o potencial da kombucha como ingrediente versátil. A crescente demanda por alimentos fermentados e funcionais, somada à preferência por opções vegetais e menos calóricas, posiciona os sorbets com kombucha como uma alternativa promissora no mercado de gelados comestíveis.

Como perspectivas, sugere-se a realização de estudos adicionais para explorar outras combinações de frutas e chás, otimizar a textura por meio de ajustes na formulação e investigar os efeitos da kombucha sobre a microbiota intestinal quando incorporada em matrizes congeladas. Testes com públicos mais diversificados, em contextos de consumo real, também podem enriquecer a compreensão sobre a aceitação comercial desses produtos.

REFERÊNCIAS

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. RDC nº 713, de 1º de julho de 2022. Dispõe sobre os requisitos sanitários de gelados comestíveis e dos preparados para gelados comestíveis. Disponível em: < https://abiam.com.br/wp-content/uploads/2022/07/RDC-713_22-Gelados-Comestiveis.pdf>. Acesso em: 16 Out. 2025.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. Anuário das bebidas não alcoólicas 2024: ano de referência 2023. / Ministério da Agricultura e Pecuária. Secretaria de Defesa Agropecuária – Brasília: MAPA/SDA, 2024. 104 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DE AGRICULTURA E PECUÁRIA. **Instrução Normativa nº 41**, de 17 de setembro de 2019. 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. Regulamentação impulsiona setor de kombucha, que cresce 923% em seis anos no Brasil. Agência gov, 03/09/2025. Disponível em: <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202509/regulamentacao-impulsiona-setor-de-kombucha-que-cresce-923-em-seis-anos-no-brasil?utm_source=chatgpt.com>. Acesso em: 16 Out. 2025.

BRASIL, A. S.; SIGARINI, K. S.; PARDINHO, F. C.; FARIA, R. A. P. G.; SIQUEIRA, N. F. M. P. Avaliação da qualidade físico-química de polpas de fruta congeladas comercializadas na cidade de Cuiabá-MT. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 38, n. 1, p. 167-175, 2016.

CABRAL, J. R. S.; JUNGHANS, D. T. Variedades de abacaxi. **Circular Técnica 63**, Embrapa, 2003.

CAVICCHIA, L. O. A., ALMEIDA, M. E. F. Health benefits of kombucha: drink and its biocellulose production. **Braz. J. Pharm. Sci.**, v. 58, E20766, P. 1-13, 2022.

CHAKRAVORTY, S., BHATTACHARYA, S., BHATTACHARYA, D., SARKAR, S., GACHHUI, R. Kombucha: a promising functional beverage prepared from tea. *In: Non-Alcoholic Beverages*, pp. 285–327, 2019. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815270-6.00010-4>.

CHEW, W. N. Development of white peach flavored kombucha sorbet. Tunku Abdul Rahman University of Management and Technology. Disponível em: <<https://eprints.tarc.edu.my/28404/>>. Acesso em: 16 Out. 2025.

COELHO, R. M. D., ALMEIDA, A. L., AMARAL, R. Q. G., MOTA, R. N., SOUSA, P. H. M. Kombucha: Review. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 22, n. 12, p. 1-12, dez 2020.

COSTA, M. A. C., VILELA, D. L. S., FRAIZ, G. M., LOPES, I. L., COELHO, A. I. M., CASTRO, L. C. V., MARTIN, J. G. P. Effect of kombucha intake on the gut microbiota and obesity-related comorbidities: a systematic review. **Crit Rev Food Sci Nutr**, v. 63, n. 19, p. 3851-3866, 2023. doi: 10.1080/10408398.2021.1995321.

CRUZ, A. G. *et al.* Ice cream as a probiotic food carrier. **Food Research International**, v. 42, p. 1-7, 2009.

DUFRESNE, C., FARNWORTH, E. Tea, kombucha, and health: a review. **Food Research International**, v. 33, n. 13, p. 409-421, jul 2000.

DUTCOSKY, S. D. **Análise sensorial de alimentos**. 5ª Ed. Curitiba: PucPress, 2019.

ELIAS, W. C. Estudo de automação e controle do grau brix das dornas de fermentação de uma destilaria. Repositório Institucional da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (RIUT), [s.v], n. 49, p. 1-49, 2015. Disponível em: <http://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/7468>. Acesso em: 26 Set 2023.

GADELHA, A. J. F., ROCHA, C. O., VIEIRA, F. F., RIBEIRO, G. N. Avaliação de parâmetros de qualidade físico-químicos de polpas congeladas de abacaxi, acerola, cajá e caju. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 5, p. 115-118, mar 2009. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=237117625016>. Acesso em: 26 set 2023.

GRAND VIEW RESEARCH. *Kombucha Market Size, Share & Trends Analysis Report, 2024–2030*. San Francisco, CA: Grand View Research, 2024. Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/kombucha-market>. Acesso em: 16 out. 2025.

GRANGER, C., LEGER, A., BAREY, P., LANGENDORFF, V., CANSELL, M. Influence of formulation on the structural networks in ice cream. **International Dairy Journal**, v.15, n. 03, p. 255-262, nov 2005.

HOSSAIN, M. F. World pineapple production: an overview. **African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development**, v. 16, n. 14, p. 11443-11456, nov. 2016.

HOSSAIN, M. F., AKHTAN, S., ANWAR, M. Nutritional value and medicinal benefits of pineapple. **International Journal of Nutrition and Food Sciences**, v. 4, n. 5, p. 84-88, fev. 2015.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo, SP, 2008. 1020 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção de abacaxi**.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS – ITAL. **Brasil Food Trends** 2020. Ital, São Paulo, 2010.

JAYABALAN, R., MALBAŠA, R.V., SATHISHKUMAR, M. Kombucha. Reference Module in Food Science, pp. 1–8. 2016. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03032-8>.

KAPP, M. J., SUMNER, W. Kombucha: a systematic review of the empirical evidence of human health benefit. **Annals of Epidemiology**, v. 30, n. 5, p. 66-70, feb 2019.

LIEIRA, R. Q. Avaliação sensorial e bioativos de sorbet de uva integral e adoçado com blend de maçã. [Dissertação]. **Faculdade de Ciências Agrônômicas**, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2017.

LIM, J. Hedonic scaling: A review of methods and theory. **Food Quality and Preference**, v. 22, n. 15, p. 733-747, 2011.

MANDRO, G. F.; BRAZACA, S. G. C.; SILVA, M. B. R.; BERNI, P. R. A. Desenvolvimento de sorbet de tamarindo. In: **22º Simpósio Internacional de Iniciação Científica e Tecnológica da USP – SIICUSP**. 2014.

MARINHO, J. F. U. Desenvolvimento e avaliação de sorbets probióticos e simbióticos elaborados com polpa de Juçara (*Euterpe edulis*). **Dissertação (Mestrado em Zootecnia e Engenharia de Alimentos)**, Universidade de São Paulo, 2016.

MIGOYA, F. J. Frozen desserts. **John Wiley & Sons Inc.**, New York, p. 69-87, 2008.

MIRANDA, J. F., RUIZ, L. F., SILVA, C. B., UEKANE, T. M., SILVA, K. A., GONZALEZ, A. G. M., FERNANDES, F. F., LIMA, A. R. Kombucha: A review of substrates, regulations, composition, and biological properties. **Food Science**, v. 87, n. 24, p. 503-527, fev 2022.

MUSE, M. R., HARTEL, R. W. Ice cream structural elements that affect melting rate and hardness. **Journal of Dairy Science**, v. 87, n. 10, p. 1-10, jul 2003.

NEPA – NÚCLEO DE PESQUISAS EM ALIMENTAÇÃO E NUTRIÇÃO, UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – NEPA/UNICAMP. Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO. 4ª edição. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2011. Disponível em: <https://www.nepa.unicamp.br/taco/>. Acesso em: 15 out. 2025.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD), FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). OECD-FAO Agricultural Outlook 2023-2032. Paris: OECD Publishing, 2023. Disponível em: https://www.oecd.org/en/publications/oecd-fao-agricultural-outlook-2023-2032_08801ab7-en/full-report/other-products_002870a7.html. Acesso em: 15 out. 2025.

PACHECO, N. I. *et al.* Caracterização do abacaxi e sua casca como alimento funcional. Research, Society and Development, v. 11, n. 3, e2684023417, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/download/26840/23417>. Acesso em: 15 out. 2025.

PETKOVA, T., DOYKINA, P., ALEXIEVA, I., MIHAYLOVA, D., POPOVA, A. Characterization of fruit sorbet matrices with added value from Zizyphus Jujuba and Stevia Rebaudiana. **Foods**, n. 13, p. 1-13, jul. 2022.

PINHEIRO, E. S. Avaliação dos aspectos sensoriais, físico-químicos e minerais do suco de uva da variedade Benitaka (*Vitis vinifera* L.). 2008. 130 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

RAHMAN *et al.* Innovative development of instant kombucha drink and kombucha ice cream using spray drying techniques. **International Journal of Advanced Research in Food Science and Agricultural Technology**, v. 3, n. 1, p. 1-23, 2024.

RAMADHANY, P., IRAWAN, G. The influence of xanthan gum and lemon juice on the quality of tomato sorbet. **Jurnal Teknologi & Industri Pangan**, v. 33, n. 2, p. 148-156, dez 2022.

ROBY, B. H. M. *et al.* Physical properties, storage stability, and consumer acceptability for sourdough bread produced using encapsulated kombucha sourdough starter culture. **Journal of Food Science**, v. 85, n. 8, p. 2286-2295, 2020. doi: 10.1111/1750-3841.15302.

ROSA NETO, C., SILVA, F. de A. C.; ARAUJO, L. V. de. Aspectos do setor de produção e comercialização da cadeia produtiva do abacaxi em Rondônia: um estudo exploratório. **Embrapa Rondônia**, 2020.

RUIZ-CAPILLAS, C., HERRERO, A. M., PINTADO, T., DELGADO-PANDO, G. Sensory analysis and consumer research in new meat products development. **Foods**, n. 15, p. 1-15, fev 2021.

RYBAK, O. Milk fat in structure formation of dairy products: a review. **Ukrainian Food Journal**, v. 5, p. 499-514, mai 2016.

SAVELLI, E., BRAVI, L., FRANCIONI, B., MURMURA, F., PENCARELLI, T. PDO Labels and food preferences: results from a sensory analysis. **British Food Journal**, v. 123, n. 20, p. 1170-1189, nov 2020.

SILVA JÚNIOR, J. C. *et al.* Traditional and flavored kombuchas with pitanga and umbu-cajá pulps: chemical properties, antioxidants, and bioactive compounds. **Food Bioscience**, p. 101380, 2021. DOI: 10.1016/j.fbio.2021.101380.

SILVA JÚNIOR, J. C., MAFALDO, I. M., BRITO, I. L., CORDEIRO, A. M. T. M. Kombucha: formulation, chemical composition, and therapeutic potentialities. **Current Research in Food Science**, v. 5, p. 360-365, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.01.023>.

SUHRE, T. Kombuchas produzidas e comercializadas no Brasil: características físico-químicas e composição microbiana. **[Dissertação]**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

VAGNERON, I., FAURE, G., LOEILLET, D. Is there a pilot in the chain? Identifying the key drivers of change in the fresh pineapple sector. **Food Policy**, v. 34, n. 10, p. 437-446, out 2009.

VILLARREAL-SOTO, S. A., BEAUFORT, S., BOUAJILA, J., SOUCHARD, J. P., TAILLANDIER, P. Understanding kombucha tea fermentation: a review. **Journal of Food Science**, v. 83, n. 3, p. 580-588, 2018.

VUKIĆ, V. *et al.* The application of kombucha inoculum as an innovative starter culture in fresh cheese production. **LWT**, v. 151, n. 112142, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112142>.

XIA, X. *et al.* Kombucha fermentation enhances the health-promoting properties of soymilk beverage. **Journal of Functional Foods**, v. 62, p. 103549, 2019. DOI: 10.1016/j.jff.2019.103549.

WILLIAMS, J., MCKUNE, A. J., NAUMOVSKI, N. Sorbets as functional food products, unexplored food matrices, their challenges, and advancements. **Appl. Sci.**, v. 13, n. 21, 11945, 2023. <https://doi.org/10.3390/app132111945>.

MODELAGEM MATEMÁTICA DA CINÉTICA DE SECAGEM E AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS DAS FOLHAS DE *Momordica charantia*

Maria Clara da Silva Oliveira

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Higor Henrique Farias

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Andrew Diego Medeiros Macedo

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Alanna Silva de Souza Anastácio

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Ana Maria de Souza Araújo

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Emanuele Cardoso Dias

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Ivna Ellen de Lucena Paulino Bandeira

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Bianca Caroline Batista de Carvalho

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Janine Patrícia Melo Oliveira

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Ana Regina Nascimento Campos

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

RESUMO

Este estudo investigou a cinética de secagem convectiva das folhas de melão de São Caetano (*Momordica charantia* L.) sob diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C) em estufa de circulação de ar, visando modelar o processo e avaliar suas propriedades termodinâmicas. Os dados experimentais foram ajustados a modelos matemáticos de secagem, sendo o modelo de Page o que apresentou melhor desempenho, com altos coeficientes de determinação e baixos erros médios. O tempo necessário para atingir o equilíbrio higroscópico variou de 540 min a 50 °C para 60 min a 70 °C, enquanto o teor de água inicial das folhas (75,90%) foi reduzido para valores finais entre 4,41% e 4,93%. O rendimento médio obtido foi de 23,35%. A difusividade efetiva apresentou aumento proporcional à elevação da temperatura, situando-se entre $2,81 \times 10^{-10}$ e $1,68 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. A energia de ativação foi de $82,8934 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, valor compatível com a faixa relatada para produtos agrícolas. As propriedades termodinâmicas indicaram que a entalpia e a entropia diminuem com o aumento da temperatura, enquanto a energia livre de Gibbs apresentou valores positivos, caracterizando o processo como endergônico e não espontâneo. Os resultados demonstram que a secagem convectiva em estufa é um método eficiente para a desidratação das folhas de *M. charantia*, possibilitando a obtenção de produtos com baixa umidade residual e potencial aplicação em escala industrial. Além disso, a modelagem matemática e a análise das propriedades termodinâmicas fornecem subsídios relevantes para a otimização do processo e o aproveitamento tecnológico desta planta alimentícia não convencional.

Palavras-chave: Melão de São Caetano; plantas alimentícias não convencionais (PANCs); energia de ativação.

INTRODUÇÃO

A Caatinga, bioma exclusivamente brasileiro, ocupa cerca de 11% do território nacional e destaca-se por sua elevada biodiversidade, composta por espécies adaptadas a condições ambientais extremas. Esse ecossistema é caracterizado por regime pluviométrico irregular, chuvas concentradas em curtos períodos do ano, longas estiagens, altas temperaturas médias e intensa radiação solar, o que impõe desafios significativos ao uso sustentável dos recursos naturais e à produção agroalimentar (Marques *et al.*, 2020). Nesse contexto, torna-se estratégico o desenvolvimento de pesquisas biotecnológicas e agroindustriais que explorem espécies nativas ou subutilizadas, buscando alternativas nutricionais e funcionais que atendam às demandas de mercado e contribuam para a segurança alimentar e nutricional da população.

Entre essas alternativas, as Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANCs) emergem como um recurso promissor, especialmente em países em desenvolvimento. Essas espécies, geralmente resistentes a condições ambientais adversas, podem ampliar a diversidade alimentar, reduzir a dependência de cultivos convencionais e agregar valor a sistemas produtivos de base local (Milião *et al.*, 2022).

Dentre as PANCs, o melão de São Caetano (*Momordica charantia* L.), pertencente à família Cucurbitaceae, tem despertado crescente interesse científico e tecnológico. Apesar de muitas vezes ser considerado uma planta invasora em áreas agrícolas, apresenta ampla utilização em comunidades rurais e urbanas devido às suas propriedades medicinais e alimentícias. A dualidade observada entre o estigma de “planta espontânea” e o potencial de utilização como recurso funcional reforça a importância de estudos sistemáticos que embasem sua efetiva valorização.

Do ponto de vista farmacológico, *M. charantia* possui um perfil químico diversificado, rico em metabólitos secundários como glicosídeos triterpênicos (charantinas), alcaloides, flavonoides e polipeptídeos com atividade semelhante à insulina. Esses compostos explicam efeitos relatados na literatura, como atividade hipoglicemiante, anti-inflamatória, antimicrobiana e hipotensora (Guarniz, 2019). Tais evidências apontam para seu potencial de aplicação tanto na fitoterapia quanto no desenvolvimento de alimentos funcionais. Contudo, observa-se ainda

escassez de pesquisas voltadas ao processamento e conservação de suas partes comestíveis e medicinais, o que limita sua inserção em cadeias produtivas estruturadas e dificulta a exploração de seus benefícios em escala industrial.

Nesse sentido, o desenvolvimento de métodos de processamento adequados torna-se fundamental para assegurar estabilidade química, segurança microbiológica e valorização nutricional dessa espécie. No processamento de alimentos, a secagem convectiva tem sido amplamente empregada para a remoção de água por vaporização térmica, realizada sob condições controladas de temperatura, fluxo de ar e umidade relativa. Esse processo reduz massa e volume do produto, facilita o armazenamento e transporte e contribui para a inativação de microrganismos patogênicos, além de apresentar boa eficiência operacional e relativa preservação de compostos bioativos (Silva *et al.*, 2022; Pocock, 2022).

A compreensão da cinética de secagem é fundamental para a otimização do processo. Matematicamente, o fenômeno pode ser descrito por equações diferenciais que representam os balanços de massa e energia, complementadas por modelos empíricos ajustados a dados experimentais. Esses modelos permitem prever a dinâmica de transferência de calor e massa, bem como estimar parâmetros termodinâmicos relacionados ao processo (Pham; Khan; Karim, 2020; Souza *et al.*, 2022). Aplicados ao processamento de *M. charantia*, tais modelos podem contribuir para a redução de custos energéticos e para o desenvolvimento de protocolos reprodutíveis com potencial de aplicação em escala industrial (Pocock, 2022).

Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo avaliar a cinética de secagem convectiva das folhas de *M. charantia* em diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C), ajustar modelos matemáticos aos dados experimentais e determinar os parâmetros termodinâmicos associados ao processo. Espera-se que os resultados obtidos forneçam subsídios para o desenvolvimento de tecnologias de conservação mais eficazes, agreguem valor ao melão de São Caetano como recurso alimentar e nutricional, e contribuam para o uso sustentável de espécies nativas da Caatinga.

METODOLOGIA

Cinética de Secagem

As folhas de melão de São Caetano (*Momordica charantia* L.) foram coletadas manualmente em plantios situados no *campus* da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, PB, Brasil (7°13'50" S; 35°52'52" W). A seleção das amostras foi realizada de forma criteriosa, considerando apenas folhas com coloração verde uniforme, tamanho homogêneo e livres de injúrias visuais (manchas, rasgos ou sinais de deterioração). O teor de umidade inicial foi determinado em estufa de secagem e esterilização (modelo SL-100, Solab, Brasil), de acordo com os métodos oficiais da AOAC (2019). A Figura 1 expõe a morfologia da folha de melão de São Caetano usada na pesquisa em questão.

Figura 1 - Morfologia da folha de melão de São Caetano (*Momordica charantia*).



Fonte: Autora, 2025.

A secagem das folhas foi realizada em estufa de circulação e renovação de ar (modelo SL-102, Solab, Brasil) sob temperaturas controladas de 50, 60 e 70 °C. As amostras foram dispostas em camada única sobre bandejas de alumínio, garantindo uniformidade na exposição ao fluxo de ar aquecido. Durante o processo, as massas foram registradas em intervalos regulares, até

a obtenção de massa constante, considerada como equilíbrio higroscópico. Todos os ensaios foram conduzidos em triplicata, assegurando a confiabilidade estatística dos resultados.

A razão de umidade (RU) foi calculada conforme a Equação (1):

$$RU = \frac{U_{BS} - U_e}{U_{BS\ (inicial)} - U_e} \tag{1}$$

Em que: RU = razão de teor de água (adimensional); U_e = teor de água de equilíbrio em base seca; U_{bs} = teor de água em base seca; $U_{bs\ (inicial)}$ = teor de água inicial em base seca.

Modelagem Matemática

Os dados experimentais da cinética de secagem foram ajustados a diferentes modelos matemáticos clássicos aplicados a produtos agrícolas (Newton, Page, Thompson, Dois Termos, Aproximação da Difusão, Exponencial de Dois Termos, Wang & Singh e Verna, Tabela 1). Os parâmetros foram estimados por regressão não linear, utilizando o método Quasi-Newton implementado no software Statística® v.14.0 (TIBCO Software Inc., Palo Alto, CA, USA, 2020).

Tabela 1 - Modelos matemáticos ajustados a cinética de secagem

Designação do modelo	Modelos	Equação
Newton	$RU = e^{-K \cdot t}$	(2)
Thompson	$RU = e^{\left(\frac{-a - \left(\sqrt{a^2 + 4 \cdot b \cdot t}\right)}{2 \cdot b}\right)}$	(3)
Page	$RU = e^{-K \cdot t^n}$	(4)
Dois Termos	$RU = a \cdot e^{-k0 \cdot t} + b \cdot e^{-k1 \cdot t}$	(5)
Wang e Sing	$RU = 1 + a \cdot t + b \cdot t^2$	(6)
Aproximação da difusão	$RU = a \cdot e^{-kt} + (1 - a) \cdot e^{-k \cdot b \cdot t}$	(7)
Exponencial de Dois Termos	$RU = a \cdot e^{-kt} + (1 - a) \cdot e^{-k \cdot a \cdot t}$	(8)
Verna	$RU = a \cdot e^{-K \cdot t} + (1 - a) \cdot e^{-K1 \cdot t}$	(9)

RU: razão de teor de água; t: tempo de secagem (min); a, b, c, k, ko, k1 e n: parâmetros dos modelos.

Fonte: Autora, 2025.

Análise estatística dos dados

A qualidade do ajuste foi avaliada por meio do coeficiente de determinação (R^2), do qui-quadrado reduzido (χ^2) e do desvio quadrático médio (DQM), expressos nas Equações (10) a (12):

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^n (RX_{exp,i} - RX_{pred,i})^2} \right) \quad (10)$$

$$DQM = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \sum_{i=1}^n \quad (11)$$

$$\chi^2 = \frac{1}{n - N} \sum_{i=1}^n (RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2 \quad (12)$$

Em que: $RX_{pred,i}$ = razão do teor de água predito pelo modelo; $RX_{exp,i}$ = razão do teor de água experimental; n = número de observações; N = número de parâmetros do modelo.

Análise de propriedades termodinâmicas

A difusividade efetiva (Def) foi estimada a partir da solução da segunda lei de Fick para uma geometria de placa plana. A relação entre Def e a temperatura absoluta (T) foi ajustada pelo modelo de Arrhenius (Equação 13). Com base na energia de ativação (Equação 14), determinaram-se as propriedades termodinâmicas associadas ao processo de secagem: variação de entalpia (ΔH), entropia (ΔS) e energia livre de Gibbs (ΔG), calculadas segundo as Equações (15) a (17). Todas as equações utilizadas estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Equações das propriedades termodinâmicas.

Propriedades Termodinâmicas		Equação
Equação de Arrhenius	$Def = D_0 \cdot e^{(-Ea/R.T)}$	(13)
Energia de Ativação (Ea)	$Ea = - B \cdot R$	(14)
Entalpia (ΔH)	$\Delta H = Ea - R (T + 273,15)$	(15)
Entropia (ΔS)	$\Delta S = R [\ln (D) - \ln kb - \ln (T + 273,15)]$	(16)
Energia de Gibbs (ΔG)	$\Delta G = \Delta H - (T + 273,15) \Delta S$	(17)

ΔH - variação da entalpia ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$); ΔS - variação da entropia ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$); ΔG - energia livre de Gibbs de ativação ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$); Def - Difusidade Efetiva (m^2/s); Ea - energia de ativação ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$); R - constante universal dos gases ($0,008314 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$); T - temperatura absoluta (K); D_0 - fator pré-exponencial ($\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$); kb - Constante de Boltzmann ($1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$); hp - constante de Planck ($6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$); B - Coeficiente angular do gráfico $1/T$ no eixo X e $\ln(Def)$ no eixo Y.

Fonte: Autora, 2025.

RESULTADOS

Cinética de secagem e modelagem matemática

A Tabela 3 apresenta os valores parâmetros dos modelos matemáticos testados nos dados da cinética de secagem convectiva das folhas de melão de São Caetano, do coeficiente de determinação (R^2), desvio quadrático médio (DQM) e qui-quadrado (χ^2).

Tabela 3 - Valores dos parâmetros dos modelos matemáticos ajustados aos dados da secagem das folhas de melão de São Caetano, do coeficiente de determinação (R^2), desvio quadrático médio (DQM) e qui-quadrado (χ^2).

Modelos	Temp. °C	Parâmetros				Critérios		
		A	k			R^2	DQM	χ^2
Exp. de Dois Termos	50	0,1751	0,0418			0,9957	0,0279	0,0008
	60	0,0026	10,7547			0,9910	0,0432	0,0019
	70	0,0024	20,3656			0,9855	0,0557	0,0031
Dois Termos		A	k0	b	k1	R^2	DQM	χ^2
	50	0,7727	0,0065	0,2572	0,0525	0,9974	0,0218	0,0005
	60	0,5345	0,0300	0,5345	0,0300	0,9940	0,0352	0,0012
	70	0,5321	0,0513	0,5321	0,0513	0,9881	0,0504	0,0025
Wang e Sing		A	b			R^2	DQM	χ^2
	50	-0,0059	0,0000			0,9254	0,1138	0,0129
	60	-0,0196	0,0001			0,9931	0,0379	0,0014
	70	-0,0347	0,0003			0,9998	0,0069	0,00005

Modelos	Temp. ° C	Parâmetros			Critérios		
		A	k	b	R ²	DQM	χ^2
Aproximação da difusão	50	0,2303	0,0461	0,1405	0,9970	0,0231	0,0005
	60	-190,039	0,0521	0,9961	0,9990	0,0147	0,0147
	70	-175,962	0,0907	0,9954	0,9972	0,0243	0,0002
		K			R ²	DQM	χ^2
Newton	50	0,0095			0,9854	0,0512	0,0026
	60	0,0280			0,9912	0,0427	0,0018
	70	0,0485			0,9856	0,0554	0,0031
		K	n		R ²	DQM	χ^2
Page	50	0,0237	0,7950		0,9954	0,0289	0,0008
	60	0,0096	1,2946		0,9991	0,0137	0,0002
	70	0,0144	1,3780		0,9978	0,0215	0,0005
		a	b		R ²	DQM	χ^2
Thompson	50	-7,5761	0,3177		0,9943	0,0320	0,0010
	60	-2917,89	9,0315		0,9912	0,0427	0,0018
	70	-3406,35	12,8521		0,9856	0,0554	0,0031
		a	k	k1	R ²	DQM	χ^2
Verna	50	0,2302	0,0461	0,0065	0,9970	0,0231	0,0005
	60	0,0482	0,0280	0,0280	0,9912	0,0427	0,0018
	70	0,0982	0,0485	0,0485	0,9856	0,0554	0,0031

Fonte: Autora, 2025.

A Figura 2 mostra o aspecto das folhas de melão de São Caetano antes (lado esquerdo) e o depois (lado direito) da realização da cinética de secagem.

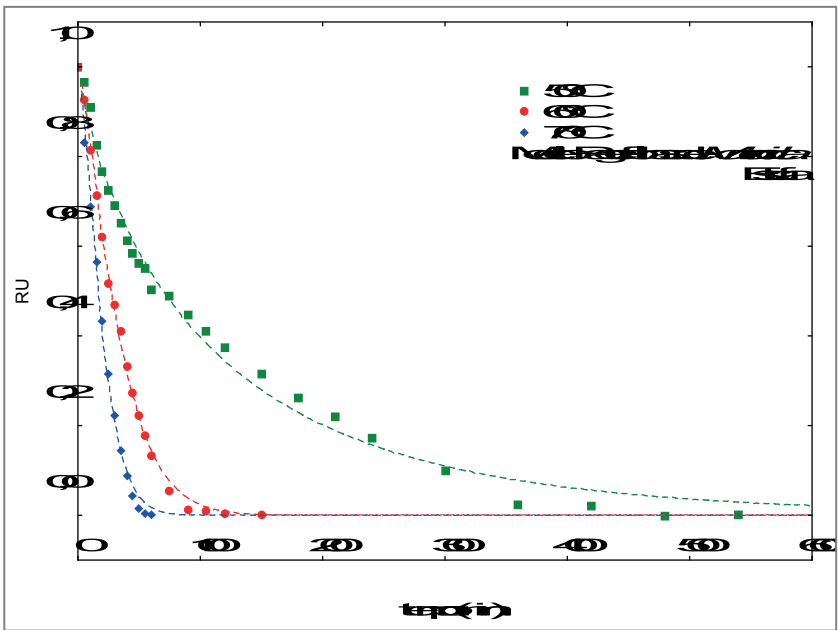
Figura 2 - Aspecto das folhas de melão de São Caetano. A) antes da secagem. B) depois da secagem.



Fonte: Autora, 2025.

A Figura 3 mostra as curvas de secagem, com ajustes pelo modelo de Page para a secagem da folha de melão de São Caetano, utilizando a estufa de circulação de ar nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

Figura 3 - Modelo de Page ajustado aos valores experimentais da razão de umidade da secagem em estufa de circulação de ar da folha de melão de São Caetano, em diferentes temperaturas.



Fonte: Autora, 2025.

Análise de propriedades termodinâmicas

A Tabela 4 mostra os valores de difusidade efetiva (Def), variação da entalpia (ΔH), variação da entropia (ΔS) e energia livre de Gibbs (ΔG) para as folhas de Melão de São Caetano na secagem em estufa.

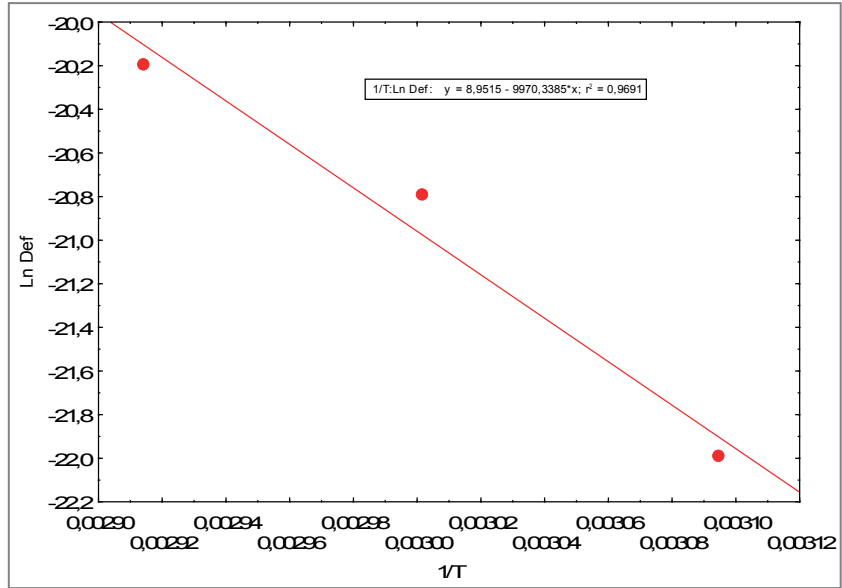
Tabela 4 - Valores de difusidade efetiva (Def), variação da entalpia (ΔH), variação da entropia (ΔS) e energia livre de Gibbs (ΔG).

T(°C)	Difusidade Efetiva (Def)(m ² .s ⁻¹)	Entalpia (ΔH) (kJ.mol ⁻¹)	Entropia (ΔS) (kJ.mol ⁻¹)	Energia de Gibbs (ΔG)(kJ.mol ⁻¹)
50	2,8118 ×10 ⁻¹⁰	80,2067	-0,1712	135,5172
60	9,3481×10 ⁻¹⁰	80,1236	-0,1714	137,2301
70	1,6887 ×10 ⁻⁹	80,0405	-0,1717	138,9455

Fonte: Autora, 2025.

A Figura 4 mostra o gráfico correspondente a linearização da Equação de Arrhenius, 1/T x Ln Def.

Figura 4 - Gráfico 1/T x Ln Def.



Onde: $y = -9970,3385x + 8,9515$ é a função que descreve o comportamento do gráfico, "y"=Ln Def, "x"= 1/T, o coeficiente angular (B) = -9970,3385, o coeficiente linear = 8,9515 e o $R^2=0,9691$.

Fonte: Autora, 2025.

DISCUSSÃO

Cinética de secagem e modelagem matemática

Com relação aos resultados de cinética de secagem e modelagem matemática adquiridos, o modelo de Page se destaca por ter atendido aos critérios de seleção, possuindo os maiores valores para o coeficiente de determinação (R^2) e os menores valores do desvio quadrático médio (DQM) e qui-quadrado (χ^2). Desse modo, o modelo torna-se o mais indicado para prever a cinética de secagem convectiva das folhas de melão de São Caetano, nas três temperaturas (50, 60 e 70 °C). No modelo de Page, o parâmetro "k" representa a constante de secagem, diretamente associada à velocidade de remoção da água. Observa-se que esse valor tende a diminuir ao longo do processo, pois a maior parte da água livre é retirada nos estágios iniciais, restando a água mais fortemente ligada ao material, que exige maior tempo para ser eliminada (Adekanye *et al.*, 2025). Já o parâmetro "n" ajusta a forma da curva de secagem, sendo que valores inferiores a 1 indicam uma secagem mais lenta e valores superiores a 1 correspondem a uma perda inicial de umidade mais acentuada. Esse comportamento foi confirmado na secagem convectiva das folhas de melão de São Caetano, em que "k" variou de 0,0237 a 0,0144 e "n" aumentou de 0,7950 (50 °C) para 1,3780 (70 °C), indicando que temperaturas mais elevadas favorecem uma secagem inicial mais rápida e intensa.

De acordo com a Figura 3, observa-se que o tempo necessário para atingir o equilíbrio higroscópico diminuiu consideravelmente com o aumento da temperatura, passando de 540 min a 50 °C, para 150 min a 60 °C e 60 min a 70 °C. O teor de água inicial da amostra foi de 75,90%, reduzindo-se para valores finais de 4,41%, 4,85% e 4,93%, respectivamente, com rendimento médio de 23,35%. Resultados semelhantes foram relatados por Silva (2019), que avaliou a cinética de secagem de folhas de *M. charantia* em temperaturas mais baixas (20 a 50 °C), encontrando tempos de secagem de até 35 h a 20 °C e redução progressiva com o aumento da temperatura. Embora Silva (2019) tenha identificado o modelo de Midilli como o mais adequado, no presente estudo o modelo de Page apresentou melhor ajuste estatístico, evidenciando

que a escolha do modelo pode variar em função da faixa de temperatura e das condições experimentais avaliadas.

De forma consistente, o estudo de Adekanye *et al.* (2025) também demonstrou que temperaturas de 50 a 70 °C reduzem drasticamente o tempo de secagem, alcançando teores finais próximos de 5%, em concordância com os resultados aqui apresentados. Contudo, esse estudo ressaltou que temperaturas mais elevadas podem comprometer compostos bioativos, aspecto que merece atenção quando se busca associar eficiência de processo e preservação funcional.

Análise de propriedades termodinâmicas

O conhecimento das propriedades termodinâmicas nos processos de secagem de produtos agrícolas é importante fonte de informação para projetar equipamentos de secagem, determinar a demanda energética envolvida, avaliar o comportamento da água adsorvida e avaliar a microestrutura dos alimentos e compreender os fenômenos físicos que ocorrem durante a secagem (Corrêa *et al.*, 2010).

Conforme apresentado na Tabela 4, o coeficiente de difusão efetiva (Def) aumentou progressivamente com a elevação da temperatura do ar de secagem, passando de $2,8118 \times 10^{-10} \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ a 50 °C para $9,3481 \times 10^{-10} \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ a 60 °C, atingindo $1,6887 \times 10^{-9} \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ a 70 °C. Esse comportamento confirma a forte dependência da difusão da água em relação à energia térmica fornecida ao sistema, refletindo maior mobilidade das moléculas de água no interior do material. Ressalta-se que o Def não constitui uma propriedade intrínseca do produto, uma vez que é influenciado por fatores externos, como temperatura, gradiente de pressão de vapor e fluxo de ar; por esse motivo, é denominado difusividade efetiva (Oliveira *et al.*, 2006).

O valor da energia de ativação (Ea) determinada para a secagem das folhas de melão de São Caetano foi de $82,8934 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$. A Ea caracteriza a energia mínima necessária para que as moléculas de água superem as barreiras internas e migrem até a superfície do material durante a secagem (Silva *et al.*, 2020). Segundo Zogzas *et al.* (1996), os valores de energia de ativação típicos para produtos agrícolas variam de $12,7$ a $110 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, logo o valor de energia de

ativação encontrado no presente trabalho está situado nesta faixa de valores propostos por esses autores.

A variação de entalpia(ΔH) apresentou uma pequena redução com o aumento da temperatura. Este comportamento indica que em temperaturas mais elevadas a energia requerida para remover a água do material é menor (Martins *et al.*, 2015). A variação de entropia (ΔS) foi reduzida de $-0,1712 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, a 50°C para $-0,1717 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, a 70°C , o que indica decréscimo com o aumento da temperatura. A entropia é uma grandeza termodinâmica associada ao grau de desordem, sendo uma função de estado em que seus valores aumentam durante um processo natural em um sistema isolado. Analisando o comportamento da entropia, conclui-se que esta apresentou um comportamento similar à entalpia, em que os valores obtidos aumentaram com a diminuição da temperatura. Este fato é esperado, uma vez que a diminuição da temperatura acarreta em menor excitação das moléculas de água, resultando num aumento da ordem do sistema água-produto (Oliveira *et al.*, 2019).

O valor da energia de Gibbs (ΔG) aumentou com o aumento da temperatura. Valores positivos de ΔG indicam que o processo requer energia externa para ocorrer, caracterizando-o como endotérmico e não espontâneo (endorgônico). Este resultado confirma que a secagem é um processo que demanda o fornecimento contínuo de energia do ambiente para atingir o estado de transição e completar a remoção de umidade do material (Ong *et al.*, 2013; Oliveira *et al.*, 2019).

CONCLUSÃO

O estudo fornece modelos matemáticos que otimizam a secagem, reduzindo custos, tempo e consumo de energia. O modelo de Page foi o mais adequado para descrever a cinética de secagem convectiva nas temperaturas estudadas. Temperaturas mais altas reduziram o tempo de secagem (de 540 min a 50°C para 60 min a 70°C), mantendo a qualidade. As propriedades termodinâmicas (entalpia, entropia e energia livre de Gibbs) mostraram que menos energia é necessária em temperaturas elevadas, caracterizando o processo como endergônico.

REFERÊNCIAS

ADEKANYE, T.; ALHASSAN, E.; AMODU, M.; OLANREWAJU, T.; LYANDA, M. Kinetics of heat and mass transfer in moringa leaves drying in a cabinet dryer. *Results in Engineering*, v. 26, p. 104763, 2025. doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104763.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. AOAC guidelines for single laboratory validation of chemical methods for dietary supplements and botanicals. Gaithersburg, MD: AOAC, 2019. p. 5-13.

CÔRREA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; BOTELHO, F. M.; GONELI, A. L. D.; CARVALHO, F. M. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. *Revista Ceres*, v. 57, n. 5, p. 595-601, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2010000500005>.

CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; GONELI, A. L. D.; BOTELHO, F. M.; NOGUEIRA, B. L. Determinação do coeficiente de difusão líquida dos grãos de feijão. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v. 8, n. 2, p. 117-126, 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/FernandoBotelho/publication/276459615_Determinacao_do_coeficiente_de_difusao_liquida_dos_graos_de_feijao/links/577a668e08ae355e74f0685e/Determinacao-do-coeficiente-de-difusao-liquida-dos-graos-de-feijao.pdf. Acesso em: 22 fev 2025.

GUARNIZ, W. A. *et al.* *Momordica charantia* L. Variedade do Nordeste do Brasil: Análise da Atividade Antimicrobiana e Componentes Fitoquímicos. *Revista de Farmacognosia*, v. 11, n. 6, p. 1312-1324, 2019. DOI: 10.5530/pj.2019.11.203.

GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; REIS NETO, S. A. Estudo da difusão de umidade em grãos de trigo durante a secagem. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 27, n. 1, p. 135-140, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000100024>.

LEITE, G.; ANA, H.; SOUZA, L.; RODRIGUES, T.; NASCIF, É.; RICARDO, C. Unconventional food plants: Nutritional aspects and perspectives for industrial applications. *Future Foods*, v. 5, 2022, 100124. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100124>.

MARQUES, T. V.; MENDES, K.; MUTTI, P.; MEDEIROS, S.; SILVA, L.; PEREZ-MARIN, A. M. *et al.* Environmental and biophysical controls of evapotranspiration from Seasonally Dry Tropical Forests (Caatinga) in the Brazilian Semiarid. *Agricultural and Forest Meteorology* v. 287, 2020, 107957. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.107957>.

MARTINS, E. A. S.; LAGE, E. Z.; GONELI, A. L. D.; HARTMANN FILHO, C. P. H.; LOPES, J. G. Cinética de secagem de folhas de timbó (*Serjania marginata* Casar). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 3, p. 238-244, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n3p238-244>.

MILLIÃO, Gustavo Leite *et al.* Unconventional food plants: Nutritional aspects and perspectives for industrial applications. *Future Foods*, v. 5, 2022, 100124. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100124>.

OLIVEIRA, G. H.; CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, A. P.; BOTELHO, S. C. C. Cinética de secagem de folhas de fumo e suas propriedades termodinâmicas. *Revista Tecnologia em Marcha*, p. 71-77, 2019. DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v32i7.4262>.

OLIVEIRA, R. A. D.; OLIVEIRA, W. P. D.; PARK, K. J. Determinação da difusividade efetiva de raiz de chicória. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 181-189, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162006000100020>.

OLIVEIRA, S. C.; ANDRADE FILHO, G. K. S.; LOPES, J. M. S. Uso da planta “melão de São Caetano” (*Momordica charantia* L.) no combate ao carrapato (*Rhipicephalus sanguineus*) de cães: revisão de literatura. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 6, n. 4, p. 22688-22713, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n4-436>.

ONG, L. K.; KURNIAWAN, A.; SUWANDI, A. C.; LIN, C. X.; ZHAO, X. S.; ISMADJI, S. Transesterification of leather tanning waste to biodiesel at supercritical condition: Kinetics and thermodynamics studies. The Journal of Supercritical Fluids, v. 75, p. 11-20, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2012.12.018>.

PETER, E. L.; KASALI, F. M.; DEYNO, S.; MTEWA, A.; NAGENDRAPPA, P. B.; TOLO, C. U. *et al.* *Momordica charantia* L. lowers elevated glycaemia in type 2 diabetes mellitus patients: Systematic review and meta-analysis. Journal of Ethnopharmacology, v. 231, p. 311-324, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2018.10.033>.

PHAM, N. D.; KHAN, M. I. H.; KARIM, M. A. A mathematical model for predicting the transport process and quality changes during intermittent microwave convective drying. Food Chemistry, v. 325, 2020, 126932. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126932>.

POCOCK, J.; SEPTIEN, S.; MAKUNUNIKA, B. S. N.; VELKUSHANOVA, K. V.; BUCKLEY, C. A. Convective drying kinetics of faecal sludge from VIP latrines. Heliyon, v. 8, n. 4, e09221, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09221>.

SILVA, D. P.; SANTOS, S. G. F. D.; SILVA, I. L.; SILVA, H. W.; RODOVALHO, R. S. Cinética de secagem e propriedades termodinâmicas das folhas do melão de São Caetano (*Momordica charantia* L.). Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 24, n. 10, p. 707-712, 2020. DOI: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/682>.

SILVA, F. B.; DOS SANTOS, S. G. F.; ALMEIDA, V. G.; REZENDE, G.; XAVIER, I. R. R.; RODOVALHO, R. S. Cinética de secagem e qualidade fisiológica de sementes de milho. Revista de Ciências Agrárias, v. 45, n. 1-2, p. 24-33, 2022. DOI: <https://doi.org/10.19084/rca.27094>.

SOUSA, A. P. M. de; CAMPOS, A. R. N.; SANTANA, R. A. C. de; DANTAS, D. L.; MACEDO, A. D. B. de; SILVA, J. R. B. da *et al.* Parâmetros de qualidade física e química do eixo central, mesocarpo e sementes de jaca submetidas a diferentes processos de secagem. Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento, v. 11, n. 4, e34311427328, 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i4.27328>.

STATISTICA, TIBCO. TIBCO Software Inc, Palo Alto, CA, USA. (Version 14.0. 0)[Computer Software]. 2020.

ZOGZAS, N. P.; MAROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Compilação de Dados de Difusividade de Umidade em Alimentos. Tecnologia de Secagem, v. 14, n. 10, p. 2225-2253, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1080/07373939608917205>.

SECAGEM DE FOLHAS DE *EUGENIA UNIFLORA*: MODELAGEM MATEMÁTICA E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

Bianca Caroline Batista de Carvalho
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Alanna Silva de Souza Anastácio
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Maria Clara da Silva Oliveira
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Kalline Silva de Souza Anastácio
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Ivna Ellen de Lucena Paulino Bandeira
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Lincoln Emmanuel Lobato dos Santos Alves
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Higor Henrique Farias
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Andrew Diego Medeiros Macedo
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Ana Maria de Souza Araújo
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Ana Regina Nascimento Campos
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

RESUMO

A *Eugenia uniflora* (pitangueira) destaca-se pelo alto teor de compostos bioativos, como ácidos fenólicos e flavonoides, associados a atividades antioxidante e antimicrobiana. A secagem é essencial para a conservação e o aproveitamento tecnológico de plantas medicinais, influenciando diretamente a estabilidade dos compostos ativos. Este estudo teve como objetivos modelar matematicamente a cinética de secagem das folhas de *E. uniflora* a 70 °C, identificar o modelo com melhor ajuste aos dados experimentais e caracterizar físico-quimicamente a farinha obtida, avaliando seu potencial de uso como ingrediente funcional. A cinética de secagem foi melhor descrita pelo modelo de Page ($R^2 = 0,9997$), resultando em farinha com baixo teor de umidade (3,55%) e atividade de água (0,585), dentro dos limites da ANVISA. O pH ácido (4,38) e a acidez titulável (0,036% em ácido cítrico) indicam boa estabilidade microbiológica, enquanto os teores de sólidos solúveis (3,33 °Brix) e solubilidade (18,21%) evidenciam propriedades tecnológicas favoráveis. Assim, a farinha de folhas de *E. uniflora* mostra-se viável como ingrediente funcional estável, com potencial para aplicação em produtos alimentícios.

Palavras-chave: Cinética de secagem; plantas medicinais; pitangueira.

INTRODUÇÃO

A espécie *Eugenia uniflora*, popularmente conhecida como pitangueira, é uma planta nativa da família Myrtaceae, amplamente distribuída na América do Sul e de notória importância na medicina tradicional brasileira (Donadel *et al.*, 2022). Suas folhas e frutos são fontes reconhecidas de compostos bioativos, sendo utilizados na forma de infusões ou decocções para o tratamento de diversas condições de saúde, como distúrbios gastrointestinais, febre e hipertensão (Cunha *et al.*, 2016). O uso popular também se estende ao tratamento de infecções microbianas (Machado *et al.*, 2025).

O potencial terapêutico da pitangueira é frequentemente atribuído à sua riqueza em metabólitos secundários, especialmente compostos fenólicos. Pesquisas fitoquímicas identificaram a presença de ácido gálico, ácido elágico e miricitrina em extratos obtidos de suas folhas (Ferreira *et al.*, 2023). Outros compostos, como quercetina e rutina, também foram reportados. Esses constituintes estão diretamente associados a uma ampla gama de atividades farmacológicas reportadas para a espécie, incluindo ação antioxidante (Cunha *et al.*, 2016). Atividade antifúngica contra espécies de *Candida* foi demonstrada por Machado *et al.* (2025), enquanto ação antibacteriana contra bactérias multirresistentes foi documentada por Ferreira *et al.* (2023). Um estudo de Bittencourt *et al.* (2021) corroborou a atividade antimicrobiana de extratos contra *Staphylococcus aureus*.

Estudos toxicológicos preliminares têm reforçado o perfil de segurança do uso de preparações à base de *E. uniflora*. Pesquisas demonstraram que extratos etanólicos das folhas não induziram citotoxicidade ou danos ao DNA em células sanguíneas humanas (Cunha *et al.*, 2016). Adicionalmente, a avaliação pré-clínica de géis vaginais contendo o extrato da planta não revelou toxicidade sistêmica ou local em modelos experimentais com ratas (Donadel *et al.*, 2022).

O processo de secagem é uma etapa crucial na pós-colheita de plantas medicinais, visando à preservação dos compostos bioativos e ao aumento da vida útil do material. No entanto, as condições de secagem, particularmente a temperatura, podem influenciar significativamente a estabilidade termossensível desses compostos. Bellaver *et al.* (2024) observaram que a secagem da polpa de *E. uniflora* em diferentes temperaturas utilizando forno secador de circulação de ar quente resultou em degradação considerável de fenóis

e carotenoides. De forma semelhante, Canabarro *et al.* (2019) investigaram a secagem de folhas de pitangueira em secador de esteira, constatando que a temperatura do ar e o tempo de residência afetam o rendimento extrativo e a preservação de compostos com atividade antioxidante.

A modelagem matemática da cinética de secagem constitui uma ferramenta fundamental para otimizar o processo, pois permite prever o comportamento da secagem em condições específicas e, assim, minimizar a degradação dos constituintes ativos. Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo modelar matematicamente o processo de secagem das folhas de *E. uniflora* a 70 °C, identificando o modelo que melhor se ajusta aos dados experimentais. Além disso, busca-se caracterizar físico-quimicamente a farinha obtida a partir do material seco, de modo a fornecer subsídios para o aproveitamento tecnológico dessa espécie promissora.

METODOLOGIA

As folhas maduras de *Eugenia uniflora* (pitangueira) (Figura 1) foram coletadas manualmente, transportadas ao laboratório e submetidas à lavagem em água corrente para a remoção de impurezas.

Figura 1 - Folhas de *Eugenia uniflora*.



Fonte: Autora (2025).

Cinética de secagem

A cinética de secagem foi conduzida em estufa com circulação e renovação de ar (SL-102, Solab) a 70 °C, até e foi monitorada através de pesagens sequenciais em balança analítica Shimadzu, com precisão de 0,0001 g, as massas das amostras foram registradas em intervalos de tempo regulares, até que fosse atingida a massa constante. A razão de umidade (RU) foi calculada conforme a Equação 1:

$$RU = \frac{U_{bs} - U_e}{U_{bs(inicial)} - U_e} \quad (1)$$

Onde:

U_{bs} – teor de água instantâneo (base seca)

U_e – teor de água de equilíbrio

$U_{bs(inicial)}$ – teor de água inicial

Modelagem matemática da secagem

Os dados experimentais da secagem foram ajustados a quatro modelos matemáticos comumente utilizados para descrever a cinética de secagem de produtos agrícolas em camada fina. As equações dos modelos são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Modelos matemáticos avaliados no estudo.

Designação do Modelo		Equação
Newton	$RU = \exp(-kt)$	(2)
Page	$RU = \exp(-kt^n)$	(3)
Midilli	$RU = a \exp(-kt^n) + bt$	(4)
Exponencial de Dois Termos	$RU = a \exp(-k_0 t) + (1-a) \exp(-k^1 t)$	(5)

Fonte: Autora (2025).

A qualidade do ajuste de cada modelo foi avaliada por meio de análise de regressão não-linear, utilizando o software Statistica® versão 14.0 (StatSoft Inc., Tulsa, EUA) (TIBCO, 2020). A avaliação dos ajustes foi realizada através dos parâmetros estatísticos de coeficiente de determinação (R^2) (Equação 6), o qual quanto mais próximo de 1 indica que houve uma melhor explicação do modelo em relação a variabilidade dos dados experimentais; Qui-quadrado (χ^2) (Equação 7), no qual valores mais baixos mostram um menor desvio entre valores observados e os previstos pelo modelo e desvio quadrático médio (DQM) (Equação 8), que de forma similar, com valores baixos, indicam uma melhor previsão do modelo em frente aos valores observados.

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^n (RX_{exp,i} - RX_{pred,i})^2} \right) \quad (6)$$

$$DQM = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

$$\chi^2 = \frac{1}{n - N} \sum_{i=1}^n (RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2 \quad (8)$$

Onde:

R^2 – coeficiente de determinação;

DQM – desvio quadrático médio;

χ^2 – qui-quadrado;

$RU_{pred,i}$ – razão do teor de água predito pelo modelo;

$RU_{exp,i}$ – razão do teor de água experimental;

n – número de observações;

N – número de constantes do modelo.

Obtenção da farinha

Com base nos resultados obtidos na cinética de secagem, determinou-se o tempo ideal para a produção da farinha das folhas. O processo envolveu as etapas de secagem, trituração do material seco em moinho de facas, acondicionamento a vácuo em sacos plásticos fotoprotetores e armazenamento em ambiente refrigerado, seguido pela caracterização físico-química do produto.

Caracterização físico-química

A farinha das folhas secas foi caracterizada seguindo metodologias oficiais da Association of Official Analytical Collaboration (AOAC, 2023) para determinação de teor de água, atividade de água pH, acidez titulável (% ácido cítrico), sólidos solúveis totais (°Brix), lipídios, proteína bruta. O ensaio de solubilidade foi realizado de acordo com método de Eastman e Moore (1984) e modificado por Cano-Chauca *et al.* (2005).

RESULTADOS

Para descrever a cinética de secagem das folhas de *E. Uniflora* a 70 °C, quatro modelos matemáticos foram ajustados aos dados experimentais. Os parâmetros de ajuste e os indicadores estatísticos de cada modelo estão na Tabela 3.

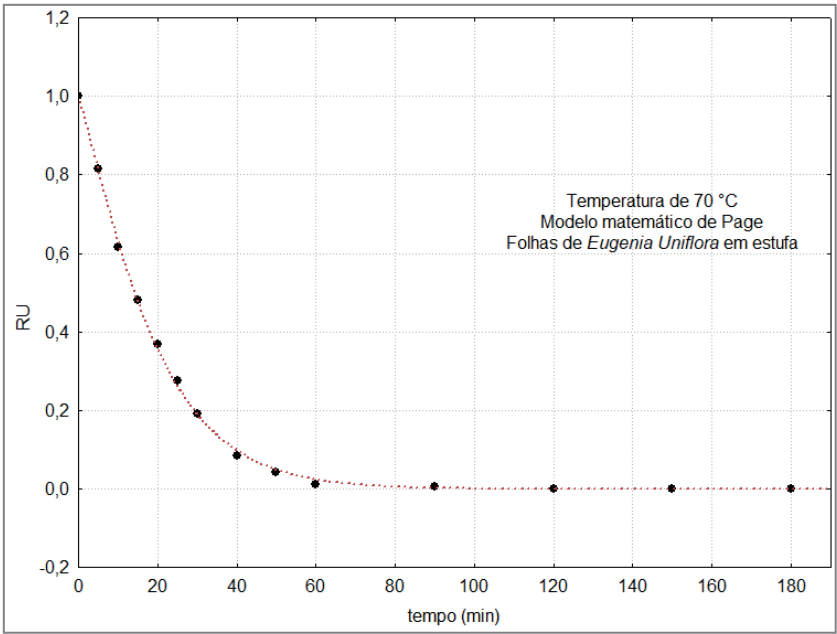
Tabela 2 - Parâmetros e indicadores estatísticos dos modelos matemáticos testados para a secagem na temperatura de 70 °C.

Modelo	Parâmetros	R ²	χ ²	DQM
Newton	k = 0,051801	0,9974	0,0005	0,0231
Page	k = 0,030672; n = 1,173133	0,9997	0,0001	0,0083
Midilli	a = 0,279360; k = -0,547444; n = 0,000105; b = -0,004053	0,5745	0,0696	0,2638
Exponencial de dois termos	a = 0,002834; k = 18,20552	0,9973	0,0006	0,0235

Fonte: Autora (2025).

A Figura 1 mostra a descrição do Modelo de Page da cinética de secagem das folhas de *Eugenia uniflora* a 70 °C. Na Figura 1 são apresentados os valores observados da razão de umidade estimados pelo modelo de Page para a secagem das folhas de *Eugenia uniflora* a 70 °C.

Figura 1 - Valores experimentais da razão de umidade da secagem das folhas de *Eugenia uniflora* a 70 °C.



Fonte: Autora (2025).

Os resultados das análises físico-químicas da farinha obtida das folhas de *E. uniflora* secas a 70 °C são apresentadas na Tabela 2. Os valores representam a média de três repetições, acompanhadas pelo seus respectivos desvios-padrão.

Tabela 3 - Parâmetros físico-químicos da farinha de folhas de *Eugenia uniflora*.

Parâmetro	Média	Desvio Padrão
Teor de água (%) _{b,u}	3,550	0,0033
Atividade de água	0,5857	0,0031
pH	4,380	0,017
Acidez titulável (% _{ácido cítrico}) _{b,s}	49,025	3,7615
Sólidos Solúveis Totais (°Brix)	3,333	0,289
Proteína Bruta (%)	0,2906	0,1259
Lipídeos (%)	0,0728	0,0067
Solubilidade (%)	18,207	1,778

Fonte: Autora (2025).

DISCUSSÃO

Os resultados da cinética de secagem das folhas de *E. uniflora* a 70 °C mostraram que o modelo de Page foi o que melhor descreveu o processo, com coeficiente de determinação (R^2) de 0,9997 e os menores valores de Qui-quadrado e Desvio Quadrático Médio. Esse resultado está de acordo com Negreiros *et al.* (2024), que também encontraram o modelo de Page como o mais adequado para descrever a secagem de folhas de *Momordica charantia* L. em diferentes temperaturas. A precisão deste modelo é particularmente importante para otimizar processos industriais de secagem, permitindo prever com exatidão o tempo necessário para atingir teores de umidade desejados, o que impacta diretamente na qualidade final do produto e nos custos de produção.

A farinha obtida das folhas secas apresentou baixo teor de água (3,55%) e atividade de água de 0,585, indicando que o processo de secagem foi eficiente e que o produto final tem boa estabilidade durante o armazenamento. Esses valores atendem aos requisitos da ANVISA (Brasil, 1996), que estabelece teor máximo de 15% de água para farinhas. A baixa atividade de água é especialmente relevante, pois inibe o desenvolvimento de microrganismos e enzimas que poderiam deteriorar o produto, garantindo assim uma vida útil mais longa para

a farinha. Esta característica é fundamental para o aproveitamento comercial do produto, pois permite seu armazenamento e distribuição sem necessidade de condições especiais de conservação.

O pH ácido (4,38) e a acidez titulável (0,036% em ácido cítrico) observados são características esperadas para materiais vegetais submetidos ao processo de secagem. Esses valores podem estar relacionados à presença de compostos fenólicos com propriedades acidificantes, como observado por Ferreira *et al.* (2023). O pH ácido é desejável pois ajuda a inibir o crescimento de microrganismos, aumentando a vida útil do produto (Sousa *et al.*, 2021). Além disso, a acidez contribui para o perfil sensorial do produto, podendo conferir uma característica levemente adstringente que pode ser interessante para algumas aplicações em alimentos, como em misturas para chás ou em produtos que necessitem de um contraponto ácido.

O teor de sólidos solúveis (3,33 °Brix) e a solubilidade (18,21%) demonstraram que a farinha tem propriedades tecnológicas interessantes para aplicação em alimentos. Essas características estão relacionadas à presença de compostos hidrossolúveis como açúcares, ácidos orgânicos e polifenóis, identificados anteriormente em folhas de *E. uniflora* por Cunha *et al.* (2016) e Machado *et al.* (2025), o que facilita seu uso em produtos como bebidas e iogurtes. A solubilidade moderada é uma vantagem tecnológica importante, pois permite que a farinha seja incorporada em diferentes matrizes alimentícias sem formar agregados ou prejudicar a textura do produto final. Esta propriedade abre possibilidades para o desenvolvimento de novos produtos alimentícios com alegações funcionais.

Os teores de proteína bruta (0,29%) e lipídios (0,07%) foram baixos, como era esperado para uma farinha de folhas, confirmando que seu principal valor está nos compostos bioativos e fibras, e não nos macronutrientes. Estudos recentes com Cromatografia Líquida de Ultra Eficiência acoplada à Espectrometria de Massas (UHPLC/MS) mostraram que as folhas de *E. uniflora* são ricas em flavonoides livres (45,56%) e glicosilados (43,86%), incluindo compostos como astragalina, espiraeosídeo, naringina e miricetina (Dalmagro *et al.*, 2023). A predominância destes compostos bioativos explica as propriedades funcionais atribuídas à farinha e justifica seu uso como ingrediente funcional em substituição a aditivos sintéticos.

O potencial antimicrobiano da *E. uniflora*, que contribui para a estabilidade da farinha, tem sido explorado em pesquisas recentes. Franzolin *et al.* (2022) produziram nanopartículas de prata e ouro usando extrato dos frutos da pitangueira através de um processo de fotoredução. As nanopartículas de prata (com aproximadamente 32 nm) mostraram forte atividade contra diversos microrganismos, incluindo bactérias Gram-positivas e Gram-negativas e *Candida albicans*. Esse estudo mostra que os compostos da pitangueira podem ser usados não apenas como extratos, mas também na produção de materiais antimicrobianos avançados. A síntese de nanopartículas usando extratos vegetais representa uma alternativa sustentável aos métodos químicos convencionais, além de agregar valor aos subprodutos da agricultura.

Outra aplicação inovadora foi desenvolvida por Dalmagro *et al.* (2023), que criaram um Sistema Formador de Filme (FFS) contendo extratos de folhas de *E. uniflora* e *Tropaeolum majus* para uso em lesões de pele. O sistema mostrou boa adesão, pH adequado para a pele e atividade antimicrobiana significativa contra *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* e *Candida albicans*. A combinação dos extratos também apresentou efeito antioxidante sinérgico, justificando sua utilização conjunta. Esta abordagem representa um avanço importante no desenvolvimento de formulações tópicas mais eficazes e seguras, que podem ser utilizadas no tratamento de feridas e infecções cutâneas, reduzindo a dependência de antibióticos convencionais.

Além das aplicações tecnológicas, estudos recentes têm investigado o potencial da *E. uniflora* na prevenção de doenças. Gonçalves *et al.* (2025) compararam as propriedades biológicas de frutos e folhas de pitangueira, com foco na prevenção de doenças cardiovasculares. Os frutos, especialmente a variedade roxa, mostraram boa atividade anti-hipertensiva, inibindo a Enzima Conversora de Angiotensina em 46,9%, e forte atividade anti-inflamatória. A análise identificou ácido gálico como o composto predominante, seguido por resveratrol, quercetina e ácido cinâmico, todos com conhecidas propriedades cardioprotetoras. Estes resultados são particularmente relevantes considerando a alta prevalência de doenças cardiovasculares na população mundial e a busca por alternativas naturais para sua prevenção e tratamento.

Estudos de toxicidade realizados por Donadel *et al.* (2022) e Cunha *et al.* (2016) confirmaram a segurança de preparações à base de *E. uniflora*, reforçando

o potencial de aplicação da farinha. Considerando que alguns compostos podem ser sensíveis ao calor, sugere-se investigar métodos de secagem alternativos ou a combinação de temperaturas para melhor preservar os compostos ativos. A secagem por spray-drying ou liofilização podem ser alternativas interessantes, embora com custos mais elevados. O balanceamento entre eficiência do processo, custo de produção e preservação dos compostos bioativos deve ser cuidadosamente avaliado para viabilizar comercialmente o produto.

A combinação dos resultados obtidos neste trabalho com as descobertas recentes da literatura evidencia o grande potencial da *E. uniflora* como fonte de compostos bioativos com diversas aplicações. A farinha de folhas representa apenas uma das formas de aproveitamento desta espécie, que pode ser explorada de maneira mais ampla na indústria de alimentos, farmacêutica e cosmética. O desafio atual está em desenvolver processos que mantenham a estabilidade e biodisponibilidade dos compostos ativos durante o processamento e armazenamento dos produtos finais.

A sustentabilidade da produção também merece atenção, uma vez que o aproveitamento das folhas, que seriam um subproduto do cultivo da pitangueira para frutos, agrega valor à cadeia produtiva e reduz desperdícios. Esta abordagem está alinhada com os princípios da economia circular e pode representar uma fonte de renda adicional para agricultores. Estudos futuros devem avaliar o impacto econômico desta diversificação na cadeia produtiva da pitangueira.

CONCLUSÃO

O processo de secagem de folhas de *Eugenia uniflora* a 70 °C mostrou-se eficaz, com o modelo de Page sendo o mais adequado para descrever a cinética do processo. A farinha obtida é estável, com baixos teores de umidade e atividade de água dentro dos padrões estabelecidos pela legislação, e possui características físico-químicas que permitem seu uso como ingrediente funcional em alimentos como chás instantâneos, bebidas e suplementos. A reprodutibilidade do processo de secagem é uma vantagem importante para sua aplicação em escala industrial, garantindo uniformidade na qualidade do produto final.

As propriedades antioxidantes e antimicrobianas da farinha, relacionadas ao seu conteúdo de compostos fenólicos, são importantes para sua estabilidade

e funcionalidade. A segurança de uso da espécie, confirmada em estudos pré-clínicos, reforça seu potencial de aplicação. A combinação destas características posiciona a farinha como um ingrediente promissor para a indústria de alimentos, capaz de conferir não apenas propriedades funcionais, mas também contribuir para a conservação natural dos produtos.

Pesquisas recentes ampliam as possibilidades de uso da *E. uniflora*. A produção de nanopartículas de prata usando extrato dos frutos (Franzolin *et al.*, 2022) abre perspectivas para o desenvolvimento de materiais antimicrobianos avançados, com aplicação em embalagens de alimentos e tratamentos tópicos. Esta abordagem representa uma inovação significativa, pois associa a sustentabilidade da síntese verde com a eficácia antimicrobiana das nanopartículas, oferecendo uma alternativa aos conservantes sintéticos.

O desenvolvimento de um Sistema Formador de Filme contendo extrato das folhas (Dalmagro *et al.*, 2023) representa um avanço na criação de formulações modernas para tratamento de lesões de pele, oferecendo liberação controlada e ação antimicrobiana localizada. Esta aplicação farmacêutica agrega valor às folhas da pitangueira, que podem ser transformadas em produtos com maior valor agregado, beneficiando toda a cadeia produtiva.

A comprovação das atividades anti-hipertensiva e anti-inflamatória dos frutos (Gonçalves *et al.*, 2025) direciona a atenção para o uso da espécie no desenvolvimento de alimentos funcionais e suplementos focados na saúde cardiovascular. A farinha de folhas, por conter muitos dos mesmos compostos bioativos, também pode ser explorada para esta finalidade. Esta descoberta é particularmente relevante considerando o crescente interesse por alimentos que ofereçam benefícios específicos à saúde, além da nutrição básica.

A versatilidade de aplicações da *E. uniflora* - desde a produção de farinhas funcionais até o desenvolvimento de nanomateriais e formulações farmacêuticas - demonstra o potencial desta espécie como recurso valioso para a bioeconomia. O aproveitamento integral da planta, incluindo frutos, folhas e outros componentes, pode gerar múltiplos produtos com diferentes níveis de processamento e valor de mercado.

Os desafios para a plena exploração deste potencial incluem a padronização da matéria-prima, a otimização de processos de extração e secagem que preservem os compostos bioativos, e a comprovação dos efeitos benéficos

através de estudos clínicos robustos. A colaboração entre instituições de pesquisa, produtores rurais e indústria é fundamental para superar estas barreiras e transformar o conhecimento científico em produtos comercialmente viáveis.

Conclui-se que a farinha de folhas de *E. uniflora* obtida por secagem a 70 °C é um produto viável com múltiplas aplicações potenciais. As pesquisas recentes indicam que a espécie pode ser utilizada desde a produção de nanomateriais até formulações farmacêuticas e alimentos funcionais. Estudos futuros devem focar na otimização do processo de secagem para preservar melhor os compostos ativos, na avaliação da biodisponibilidade desses compostos nos produtos desenvolvidos e em estudos clínicos que comprovem seus efeitos na saúde humana. A integração destes conhecimentos permitirá o aproveitamento sustentável e economicamente viável desta espécie nativa, contribuindo para o desenvolvimento de produtos inovadores e para a valorização da biodiversidade brasileira.

A expansão do cultivo da pitangueira para fins comerciais, considerando seu duplo propósito (frutos para consumo *in natura* e folhas para produção de farinha e extratos), pode representar uma oportunidade econômica interessante para agricultores familiares e para a agroindústria. Estudos de viabilidade econômica são necessários para dimensionar adequadamente esta oportunidade e desenvolver modelos de negócio sustentáveis.

A regulamentação dos produtos derivados da *E. uniflora* também merece atenção, garantindo que cheguem ao mercado com qualidade controlada e alegações de saúde comprovadas cientificamente. O diálogo com órgãos reguladores é essencial para estabelecer parâmetros de identidade e qualidade que assegurem a segurança e eficácia dos produtos comercializados.

Por fim, a educação dos consumidores sobre os benefícios dos produtos derivados da pitangueira é fundamental para o sucesso comercial destas inovações. Estratégias de marketing que destaquem a origem natural, os benefícios à saúde e o apelo sustentável destes produtos podem facilitar sua aceitação no mercado.

REFERÊNCIAS

AOAC International, 2023. *Official Methods of Analysis*, 22ª ed. Rockville: AOAC International.

BAKHSHIPOUR, A.; ZAREIFOROUGH, H.; BAGHERI, I., 2020. Mathematical and intelligent modeling of Stevia (*Stevia rebaudiana*) leaves drying in an infrared-assisted continuous hybrid solar dryer. **Food Science & Nutrition** 9(1): 532–543.

BELLAVER, M.; SANTOS, C. R. G.; FREITAS, M. S. D.; *et al.*, 2024. Effect of drying on bioactive compounds in *Eugenia uniflora* fruit pulp. **Journal of Food Process Engineering** 47(9): e14744.

BITTENCOURT, A. H. C.; MACHADO, J. S.; SILVA, M. G.; *et al.*, 2021. Avaliação fitoquímica preliminar e atividade antimicrobiana de extratos de *Eugenia uniflora* L. sobre *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*. **Research, Society and Development** 10(13): e329101320579.

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Portaria nº 354, de 18 de julho de 1996**.

CANABARRO, N. I.; UGALDE, G. A.; MAZUTTI, M. A.; *et al.*, 2019. Conveyor-belt drying of *Eugenia uniflora* L. leaves: influence of drying conditions on the yield, composition, antioxidant activity and total phenolic content of supercritical CO₂ extracts. **Food and Bioproducts Processing** 116: 140–149.

CHAVES, R. P. F.; ARAÚJO, A. L.; LOPES, A. S.; *et al.*, 2023. Convective drying of purple basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves and stability of chlorophyll and phenolic compounds during the process. **Plants** 12(1): 127.

CUNHA, F. A. B.; WACZUK, E. P.; DUARTE, A. E.; *et al.*, 2016. Cytotoxic and antioxidative potentials of ethanolic extract of *Eugenia uniflora* L. (Myrtaceae) leaves on human blood cells. **Biomedicine & Pharmacotherapy** 84: 614–621.

DALMAGRO, M.; PINC, M. M.; DONADEL, G.; *et al.*, 2023. Bioprospecting a Film-Forming System Loaded with *Eugenia uniflora* L. and *Tropaeolum majus* L. Leaf Extracts for Topical Application in Treating Skin Lesions. **Pharmaceuticals** 16(8): 1068.

DONADEL, G.; DALMAGRO, M.; DE OLIVEIRA, J. A. B.; *et al.*, 2022. Safety investigations of two formulations for vaginal use obtained from *Eugenia uniflora* L. leaves in female rats. **Pharmaceuticals** 15(12): 1567.

FERREIRA, M. R. A.; LIMA, L. B.; SANTOS, E. C. F.; *et al.*, 2023. *Eugenia uniflora*: a promising natural alternative against multidrug-resistant bacteria. **Brazilian Journal of Biology** 83: e274084.

FRANZOLIN, M. R.; COURROL, D. dos S.; DE SOUZA BARRETO, S.; COURROL, L. C., 2022. *Eugenia uniflora* L. Silver and Gold Nanoparticle Synthesis, Characterization, and Evaluation of the Photoreduction Process in Antimicrobial Activities. **Microorganisms** 10(5): 999.

GONÇALVES, J.; HONTMAN, N.; PERESTRELO, R.; CÂMARA, J. S., 2025. A Comparative Study of the Biological Properties of *Eugenia uniflora* L. Fruits and Leaves Related to the Prevention of Cardiovascular Diseases. **Life** 15(1): 147.

MACHADO, J. C. B.; TENÓRIO, C. J. L.; RODRIGUES, J. R. C.; *et al.*, 2025. Antifungal efficacy of *Eugenia uniflora* leaves extract: *In vitro* and *in silico* investigations against *Candida albicans*, *C. auris* and *C. glabrata*. **Journal of Ethnopharmacology** 352: 120181.

NEGREIROS, J. K. S.; DE OLIVEIRA, B. F.; MOTTA SOBRINHO, M. A.; *et al.*, 2024. Evaluation and mathematical modeling of foam-mat drying of *Momordica charantia* L. leaves. **Journal of Food Science** 89(12): 9502–9514.

SOUSA, A. P. M.; CAMPOS, A. R. N.; GOMES, J. P.; COSTA, J. D.; MACEDO, A. D. B.; SANTANA, R. A. C. Cinética de secagem de resíduos de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.). **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. e31510212610, 2021.

TIBCO Software Inc. TIBCO Statistica, version 14.0.0; TIBCO Software Inc.: Palo Alto, CA, USA, 2020.

SUPLEMENTAÇÃO NUTRICIONAL COM MORINGA: INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE

Alanna Silva de Souza Anastácio
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Maria Clara da Silva Oliveira
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Kalline Silva de Souza Anastácio
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Ana Maria de Souza Araújo
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Emanuele Cardoso Dias
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Ivna Ellen de Lucena Paulino Bandeira
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Bianca Caroline Batista de Carvalho
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Janine Patrícia de Melo
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Ian Lopes de Oliveira Fontes Mendes
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Ana Regina Nascimento Campos
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

RESUMO

A busca por alternativas sustentáveis e economicamente viáveis para suplementação proteica na pecuária do Semiárido brasileiro tem impulsionado o uso de biotecnologias aplicadas à valorização de recursos vegetais regionais. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo desenvolver um suplemento proteico de baixo custo destinado à alimentação animal, a partir da bioconversão de sementes de *Moringa oleifera* e raquetes de palma forrageira (*Nopalea cochenillifera*) por fermentação semissólida utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae*. O trabalho foi conduzido empregando planejamento fatorial $3^2 + 2$ pontos centrais para avaliar a influência das concentrações de moringa e levedura sobre o aumento proteico do substrato. As matérias-primas apresentaram características complementares: a moringa destacou-se pelo elevado teor proteico (25,83%), enquanto a palma forrageira mostrou alto teor de água (86%) e açúcares fermentescíveis. Durante a fermentação a 35 °C por 40 h, observou-se redução gradual do teor de água e aumento expressivo na proteína bruta, com valores de aumento proteico superiores a 250% em determinadas formulações. A análise estatística revelou que a moringa foi o principal fator determinante do enriquecimento proteico, enquanto a levedura exerceu efeito positivo moderado. O ponto ótimo identificado foi de 20% de moringa e 2,1–4% de levedura, condições que proporcionaram o maior incremento no teor de proteína. Os resultados confirmam a eficiência da fermentação semissólida como estratégia biotecnológica sustentável para valorização de biomassa vegetal regional e produção de ingredientes proteicos aplicáveis à nutrição animal no Semiárido brasileiro.

Palavras-chave: Fermentação semissólida; *Moringa oleifera*; *Nopalea Cochenillifera*; bioconversão.

INTRODUÇÃO

O setor pecuário no Semiárido brasileiro enfrenta desafios persistentes decorrentes das condições climáticas severas, da escassez hídrica e da irregularidade na disponibilidade de forragens ao longo do ano. Tais limitações, associadas ao elevado custo dos suplementos proteicos comerciais, comprometem a sustentabilidade e a rentabilidade dos sistemas de produção animal. Nesse contexto, a utilização de recursos alimentares alternativos, obtidos a partir de matérias-primas vegetais regionais e de subprodutos agroindustriais, tem se destacado como uma estratégia promissora para reduzir custos de produção e promover práticas sustentáveis baseadas na bioeconomia circular (Passos *et al.*, 2019).

Entretanto, muitos desses substratos alternativos apresentam limitações nutricionais, sobretudo quanto ao teor de proteína bruta e ao equilíbrio de aminoácidos essenciais, exigindo suplementação com concentrados proteicos de alto custo. A biotecnologia microbiana surge, portanto, como uma alternativa sustentável para o enriquecimento nutricional desses materiais, por meio da conversão de substratos de baixo valor agregado em biomateriais ricos em proteína. Microrganismos como leveduras, algas e fungos filamentosos vêm sendo amplamente estudados como fontes de proteína unicelular, capazes de substituir parcial ou totalmente os suplementos proteicos convencionais utilizados em rações animais (Canedo *et al.*, 2016; Pruksasri *et al.*, 2019).

Dentre as abordagens biotecnológicas disponíveis, a fermentação semissólida, tem despertado crescente interesse devido ao seu baixo custo operacional, reduzida demanda hídrica e capacidade de valorizar resíduos agroindustriais, favorecendo a sustentabilidade. Esse processo permite o crescimento microbiano sob condições de umidade controlada, promovendo a biossíntese de compostos de alto valor biológico, como aminoácidos essenciais, vitaminas e proteínas microbianas (Gervasi *et al.*, 2018). A levedura *Saccharomyces cerevisiae* destaca-se nesse contexto por apresentar rápido crescimento, ampla disponibilidade, segurança e comprovada eficiência na elevação do teor proteico e na digestibilidade de diversos substratos.

A moringa (*Moringa oleifera*) tem emergido como uma alternativa estratégica e sustentável na formulação de dietas animais, destacando-se pela sua

versatilidade nutricional e adaptabilidade ecológica. Essa espécie, pertencente à família *Moringaceae* e originária do subcontinente indiano, apresenta notável importância para as regiões semiáridas brasileiras, em virtude de sua elevada resistência a estresses abióticos, temperaturas elevadas e variações sazonais de precipitação (Mehlomakulu; Emmambux, 2020). Popularmente conhecida como lírio-branco, a moringa distingue-se por seu amplo espectro de compostos bioativos e elevado valor nutritivo, sendo considerada uma planta de aproveitamento integral, já que todas as suas partes possuem potencial para aplicações alimentares e biotecnológicas (Boumenjel; Papadopoulos; Ammari, 2020; Mahour *et al.*, 2022).

Sob o ponto de vista nutricional, as sementes, folhas e ramos da moringa constituem fontes expressivas de proteína e fibra de alta qualidade, as quais são eficientemente degradadas no rúmen e convertidas em energia metabolizável. A elevada taxa de degradação ruminal torna a espécie altamente atrativa para a alimentação de ruminantes, podendo ser utilizada nas formas fresca, fenada ou ensilada. Em contrapartida, para animais monogástricos, a moringa representa uma fonte proteica de elevado valor biológico, capaz de atuar como promotor de desempenho, resultando em melhorias na eficiência alimentar e no ganho de peso corporal (Oliveira *et al.*, 2020).

A palma forrageira (*Nopalea cochenillifera*) constitui um dos principais recursos alimentares utilizados na pecuária do Semiárido, destacando-se pela sua notável adaptabilidade às condições climáticas adversas dessa região. Essa espécie apresenta elevada resistência à seca, eficiência no uso da água e capacidade de se desenvolver em solos de baixa fertilidade, características que a tornam indispensável para a manutenção dos rebanhos em períodos de escassez hídrica. Além disso, a palma forrageira possui composição nutricional relevante, atuando como importante fonte de carboidratos não fibrosos, minerais e água, contribuindo de forma significativa para o equilíbrio energético e hídrico dos animais (Santos *et al.*, 2013).

Devido às suas características nutricionais e à notável capacidade de adaptação ao clima semiárido, a moringa e a palma forrageira representam alternativas promissoras para reduzir os custos de produção, melhorar a eficiência alimentar dos rebanhos e, conseqüentemente, aumentar a rentabilidade das unidades produtivas. Portanto, este estudo tem como objetivo produzir

um suplemento proteico destinado à alimentação animal, a partir de sementes de *Moringa oleífera* e palma forrageira (*Nopalea cochenillífera*), por meio de bioconversão em processo de fermentação semissólida, buscando promover o enriquecimento nutricional e desenvolver uma ração de baixo custo e elevada qualidade proteica.

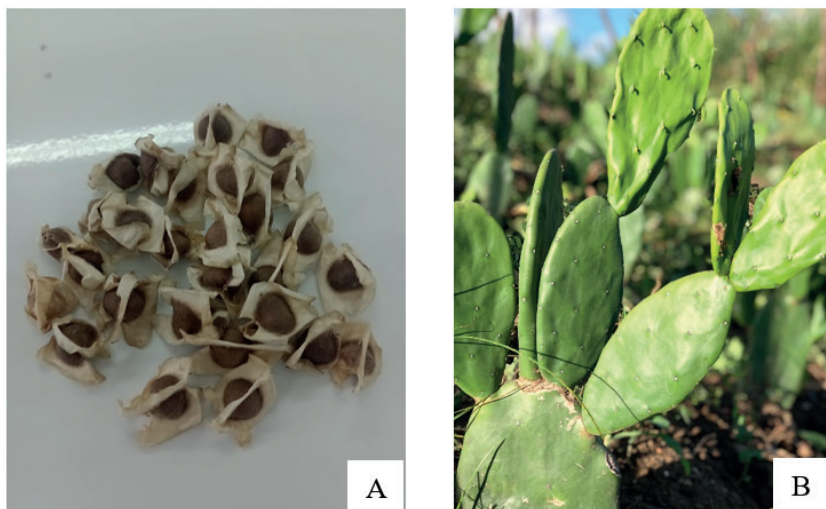
MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Bioprocessos (LabBio) da Unidade Acadêmica de Engenharia Química (UAEQ), pertencente ao Centro de Ciências e Tecnologia (CCT) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

A matéria-prima empregada consistiu em sementes de moringa (*Moringa oleífera*) e raquetes de palma forrageira (*Nopalea cochenillífera*), ambas coletadas no município de Riachão do Bacamarte, Estado da Paraíba, Brasil. Foram escolhidos devido às suas reconhecidas propriedades nutricionais e à ampla disponibilidade regional, aspectos que favorecem sua utilização em processos biotecnológicos sustentáveis.

As sementes de moringa e as raquetes de palma foram selecionadas manualmente conforme o grau de maturação, determinado por critérios visuais, como a coloração amarronzada das vagens de moringa e a integridade superficial das raquetes de palma. A Figura 1 (A e B) apresenta as imagens das matérias-primas *in natura*, evidenciando suas características físicas antes do processamento.

Figura 1 - Matéria-prima. A) moringa (*Moringa oleifera*) e B) palma forrageira (*Nopalea cochenillifera*).



Fonte: Autora (2025).

Inicialmente, as matérias-primas foram processadas separadamente em liquidificador industrial, as sementes de moringa foram trituradas até obtenção de uma massa granulada enquanto as raquetes de palma foram homogeneizadas até formar uma polpa úmida e viscosa e posteriormente misturadas em diferentes proporções, resultando em um substrato de consistência pastosa adequado ao processo fermentativo.

Os experimentos foram realizados em biorreatores com dimensões de 6,4 × 6,4 × 2,6 cm, revestidos com material antiaderente para evitar aderência do substrato às paredes e garantir condições adequadas para a fermentação semissólida.

Como microrganismo inoculante, utilizou-se a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, um fermento biológico seco, conhecido por sua eficiência como fonte proteica e baixa necessidade de água. A fermentação foi realizada em sistema de batelada por 40 h, em estufa com circulação e renovação de ar, mantendo a temperatura a 35 °C.

Análises físico-químicas

As análises físico-químicas foram realizadas em triplicata nos substratos antes, durante e após o processo fermentativo, em intervalos de tempo 4, 20 e 40 h. Seguindo as diretrizes da Association of Official Analytical Collaboration (AOAC, 2023), o teor de água (TA) foi determinado pelo método gravimétrico, com secagem em estufa a 105 °C até atingir massa constante. O pH foi medido potenciometricamente no sobrenadante utilizando um pHmetro calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0. Os sólidos solúveis totais (SST) foram avaliados por refratometria na escala °Brix, utilizando um refratômetro digital. O teor de proteína bruta (PB) foi determinado pelo método, aplicando o fator de conversão 6,25, recomendado para produtos agrícolas. O aumento proteico (AP) nas amostras foi calculado com base no teor proteico dos substratos *in natura*, conforme a Equação 1.

$$AP (\%) = \frac{(\%)proteína\ bruta\ (enriquecida) - (\%)proteína\ bruta\ (in\ natura)}{(\%)proteína\ bruta\ (in\ natura)} \times 100(1)$$

Planejamento fatorial

Com o objetivo de avaliar quantitativamente a influência das variáveis independentes: concentração de moringa (%) e concentração de levedura (%) sobre o aumento proteico do substrato, bem como suas possíveis interações, foi conduzido um planejamento fatorial 3², acrescido de dois pontos centrais para estimativa do erro experimental e verificação da reprodutibilidade dos resultados.

Os ensaios foram realizados em duplicata e em ordem aleatória, a fim de minimizar efeitos sistemáticos e garantir maior confiabilidade estatística dos dados obtidos. As variáveis foram ajustadas simultaneamente, de modo a observar o comportamento do sistema sob diferentes condições de composição. A matriz experimental correspondente ao planejamento fatorial 3² está apresentada na Tabela 1, juntamente com as codificações e os níveis reais adotados para cada variável, nível baixo (-1), nível intermediário (0) e nível alto (+1).

O software Statistica® v.14.0 (TIBCO Software, 2020) foi utilizado para a elaboração e análise do planejamento experimental fatorial, bem como para o ajuste e avaliação dos modelos de regressão obtidos a partir dos dados experimentais.

Tabela 1 - Matriz do planejamento fatorial $3^2 + 2$.

Experimentos	Concentração de Moringa		Concentração de Levedura	
	Valor Codificado	Valor Real (%)	Valor Codificado	Valor Real (%)
1	0	60	+1	4
2	-1	20	-1	0,2
3	+1	100	0	2,1
4	0	60	0	2,1
5	+1	100	-1	0,2
6	-1	20	+1	4
7	+1	100	+1	4
8	0	60	-1	0,2
9	-1	20	0	2,1
10	0	60	0	2,1
11	0	60	0	2,1

Fonte: Autoria própria (2025).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Iniciou-se o estudo com a caracterização físico-química individual das matérias-primas, sementes de moringa (*Moringa oleifera*), raquetes de palma forrageira (*Nopalea cochenillifera*) e levedura (*Saccharomyces cerevisiae*).

Caracterização físico-química da levedura

A caracterização físico-química da levedura *Saccharomyces cerevisiae* é fundamental para entender suas propriedades fermentativas, incluindo a adaptação a ambientes de pH ácido e seu elevado valor nutricional. Os valores médios obtidos na caracterização, juntamente com seus respectivos desvios padrão, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Caracterização físico-química da levedura *Saccharomyces cerevisiae*.

Parâmetros	Valor Médio *
Teor de água (TA) (%)	3,69 ± 0,13
Sólidos solúveis totais (°Brix)	9,34 ± 0,00
pH	5,25 ± 0,00
Proteína bruta (PB) (%)b.s	41,99 ± 0,35

* desvios padrão.

Fonte: Autoria própria (2025).

A levedura empregada apresentou teor de água de 3,69%, valor comparável ao relatado por Malaquias, Silva e Campos (2022) em processos de bioconversão envolvendo maniçoba (*Manihot glaziovii*) e palma forrageira, nos quais foi observado teor de 2,35%. O pH registrado foi de 5,25, enquanto o teor de proteína bruta, em base seca, atingiu aproximadamente 42%. Resultados concordantes foram descritos por Macedo (2016), que reportou pH de 5,14 e teor de proteína bruta de 46,51% (base seca) ao utilizar a mesma levedura em ensaios de enriquecimento proteico por fermentação semissólida.

Caracterização físico-química das sementes de *Moringa oleifera*

As sementes de *Moringa oleifera* apresentaram caráter ácido, com pH de 5,76. Esse resultado está em concordância com valores relatados em estudos anteriores, que também descreveram comportamento ácido para o material *in natura*. O teor de proteína bruta obtido foi de 25,83%, corroborando os resultados observados por Barakat (2016), que reportou 28,7% de proteína bruta em sementes da mesma espécie, evidenciando a elevada concentração proteica característica desse substrato vegetal. Os resultados obtidos na caracterização das sementes estão apresentados na Tabela 3.

De acordo com Moura *et al.* (2010), o teor de proteína bruta das folhas de *Moringa oleifera* apresenta média em torno de 25%. No entanto, variações podem ocorrer em função da idade da planta no momento do corte e das condições edafoclimáticas de cultivo. Mutayoba *et al.* (2011) observaram teores de até 31% de proteína bruta em determinadas condições, demonstrando a influência direta desses fatores sobre a composição nutricional da espécie.

Tabela 3 - Caracterização das sementes de *Moringa oleifera*.

Parâmetros	Valor Médio *
Teor de água (TA) (%)	10,76 ± 0,00
Sólidos solúveis totais (°Brix)	6,16 ± 0,00
pH	5,76 ± 0,00
Proteína bruta (PB) (%)	25,83 ± 0,02

* desvios padrão.

Fonte: Autoria própria (2025).

Caracterização físico-química da palma forrageira

Na caracterização físico-química da palma forrageira in natura apresentado na Tabela 4, observou-se um teor de água de aproximadamente 86%, pH de 4,77 e teor de proteína bruta de 2,6%, valores compatíveis com os relatados por Macedo (2015) para a mesma espécie, demonstrando consistência entre os resultados obtidos e os descritos na literatura. O teor de sólidos solúveis totais (°Brix) reflete a concentração de açúcares presentes no material vegetal, os quais atuam como principal fonte de carbono durante a fermentação semissólida. Nesse processo, as leveduras utilizam esses açúcares para sua multiplicação celular, o que contribui para o aumento do teor proteico do substrato.

Tabela 4 - Caracterização das raquetes de palma forrageira.

Parâmetros	Valor Médio *
Teor de água (TA) (%)	86,0 ± 0,30
Sólidos solúveis totais (°Brix)	22,6 ± 0,00
pH	4,77 ± 0,00
Proteína bruta (PB) (%)	2,6 ± 0,0

* desvios padrão.

Fonte: Autoria própria (2025).

Caracterização físico-química do substrato in natura

Foram preparadas três formulações distintas de substrato, contendo diferentes proporções de sementes de *Moringa oleifera* (20, 60 e 100%), com o objetivo de avaliar a influência da concentração da moringa nas características

físico-químicas do material *in natura*. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Caracterização físico-química dos substratos *in natura* com diferentes proporções de moringa

Parâmetros	20% Moringa	60% Moringa	100% Moringa
Teor de água (TA) (%)	75,10 ± 1,85	42,53 ± 3,18	10,76 ± 0,77
Sólidos solúveis totais (°Brix)	11,04 ± 0,00	13,07 ± 0,5	4,78 ± 0,00
pH	4,70 ± 0,00	4,80 ± 0,00	4,90 ± 0,00
Proteína bruta (PB) (%)	7,25 ± 0,03	16,54 ± 0,2	25,83 ± 0,02

Fonte: Autoria própria (2025).

O teor de água apresentou redução acentuada com o aumento da proporção de moringa, passando de 75,10% (20% de moringa) para 10,76% (100%), em função do menor teor de água intrínseco das sementes de *Moringa oleifera* em comparação ao elevado TA da palma forrageira. Os sólidos solúveis totais (°Brix) variaram de 4,78 a 13,07 °Brix, possivelmente devido ao equilíbrio entre os açúcares da palma e os compostos nitrogenados da moringa. O pH manteve-se com caráter levemente ácido e pouca influência da proporção de moringa, condição favorável ao crescimento microbiano em processos fermentativos (Correia, 2007). Observou-se ainda um aumento gradual no teor de proteína bruta (PB), à medida que foi aumentando a concentração de moringa, os valores obtidos foram de 7,25%, 16,54% e 25,83%, para os substratos com 20, 60 e 100% de moringa, respectivamente. Esse resultado é coerente com a natureza proteica da *Moringa oleifera* (Barakat; Ghazal; Hassan, 2016).

Caracterização físico-química do substrato enriquecido proteicamente

O teor de água é um fator essencial na fermentação semissólida, pois influencia diretamente o metabolismo microbiano e a eficiência das reações enzimáticas (Araújo *et al.*, 2017). Durante o processo fermentativo, observou-se uma redução gradual do teor de água, associada à evaporação da água e ao seu consumo pelas leveduras. Após 40 h de fermentação, todos os experimentos apresentaram teores finais entre 5,40 e 7,79% (Tabela 6), indicando menor disponibilidade de água livre e, conseqüentemente, o término da fase ativa de crescimento microbiano. Resultados semelhantes foram relatados por Santana

Neto *et al.* (2017) e Araújo *et al.* (2017), que destacam a influência das condições de temperatura e disposição das amostras sobre a perda do teor de água durante a fermentação semissólida.

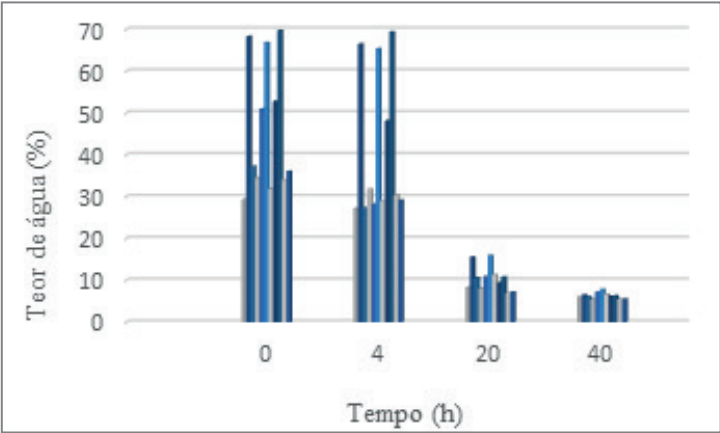
Tabela 6 - Teor de água (%) do substrato enriquecido proteicamente ao decorrer da fermentação.

Experimento	Teor de água (%)			
	0 h	4 h	20 h	40 h
1	29,25 ± 1,74	27,13 ± 3,15	8,30 ± 0,45	6,01 ± 0,17
2	68,30 ± 0,60	66,47 ± 0,07	15,56 ± 5,90	6,51 ± 0,03
3	37,22 ± 1,46	27,36 ± 1,25	10,63 ± 0,26	6,07 ± 0,19
4	34,54 ± 0,92	31,77 ± 6,30	8,09 ± 0,06	5,40 ± 0,06
5	50,94 ± 2,08	28,20 ± 2,05	10,91 ± 1,03	7,18 ± 0,18
6	66,82 ± 1,04	65,35 ± 0,84	15,89 ± 0,09	7,79 ± 0,91
7	31,92 ± 1,60	28,92 ± 4,09	11,31 ± 0,25	6,66 ± 1,05
8	52,77 ± 2,54	48,14 ± 0,21	9,38 ± 0,00	6,16 ± 0,58
9	69,74 ± 1,69	69,37 ± 1,11	10,78 ± 0,17	6,31 ± 0,00
10	34,05 ± 0,79	30,49 ± 0,86	6,97 ± 0,16	5,59 ± 0,09
11	36,03 ± 2,19	29,13 ± 2,84	7,15 ± 0,09	5,49 ± 0,15

Fonte: Autoria própria (2025).

A variação do teor de água ao longo do processo pode ser observada na Figura 2, que mostra de forma mais clara a diminuição gradual do teor de água durante a fermentação. Percebe-se que, logo nas primeiras horas, ocorre uma queda acentuada no teor de água.

Figura 2 - Variação do teor de água (%) ao decorrer da fermentação.



Fonte: Autoria própria (2025).

A Tabela 7 apresenta os teores de proteína bruta, expressos em base seca, obtidos a partir das diferentes combinações experimentais testadas. Observa-se que os resultados refletem a influência conjunta das concentrações de levedura e moringa sobre o enriquecimento proteico do substrato, permitindo identificar as condições mais favoráveis à maximização do teor de proteína.

Tabela 7 - Variação do teor de proteína bruta (%) ao longo da fermentação.

Exp.	Concentração de Levedura (%)	Concentração de moringa (%)	Proteína Bruta (%)				
			In natura	0 h	4 h	20 h	40 h
1	4	60	16,54	19,30	21,04	25,27	29,17
2	0,2	20	7,25	17,46	19,27	18,80	23,87
3	2,1	100	25,83	25,37	23,49	25,83	29,04
4	2,1	60	16,54	27,40	26,29	27,58	26,55
5	0,2	100	25,83	26,41	20,17	32,15	31,36
6	4	20	7,25	24,68	25,52	18,56	25,91
7	4	100	25,83	21,50	21,29	30,58	31,96
8	0,2	60	16,54	36,22	38,04	30,06	28,05
9	2,1	20	7,25	18,70	19,61	22,51	22,02
10	2,1	60	16,54	24,59	25,01	25,28	27,12
11	2,1	60	16,54	24,74	23,92	26,31	27,64

Fonte: Autoria própria (2025).

De acordo com os dados apresentados na Tabela 7, observa-se um aumento expressivo no teor de proteína bruta (PB) em relação ao tempo de fermentação, em comparação às amostras *in natura*.

Estudos conduzidos por Araújo *et al.* (2017) demonstraram que o resíduo da casca de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) apresentou teor de proteína bruta de 10,2% após o processo de bioconversão proteica por fermentação semissólida utilizando levedura, evidenciando o potencial desse resíduo como substituto parcial do milho na alimentação de ruminantes. De forma semelhante, o substrato composto por sementes de moringa e palma *in natura*, após o enriquecimento fermentativo, apresentou elevação significativa no teor de proteína bruta, sugerindo viabilidade para aplicação alternativa em rações animais.

Santana Neto *et al.* (2017) também observaram comportamento semelhante ao enriquecer resíduos de abacaxi (casca e coroa) com 4,65% de levedura, à temperatura de 38 °C, durante 48 h. O resíduo *in natura*, inicialmente com 4,56% de proteína, atingiu 20,06% ao final do processo, resultado que evidencia a capacidade do microrganismo de se multiplicar e incorporar compostos nitrogenados ao substrato ao longo do tempo de fermentação. Esses achados reforçam o potencial da fermentação semissólida como estratégia eficiente para o aumento do valor nutricional de resíduos agroindustriais e sua utilização na alimentação animal.

A Tabela 8 apresenta os valores de aumento proteico obtidos ao longo da fermentação semissólida. Verifica-se que a elevação gradual no teor de proteína bruta está associada à atividade metabólica das leveduras, que utilizam os nutrientes disponíveis no substrato para a síntese de biomassa e compostos nitrogenados. Esse comportamento evidencia a eficiência do processo fermentativo na promoção do enriquecimento nutricional do material, reforçando o potencial biotecnológico da fermentação semissólida como estratégia sustentável para valorização de resíduos agroindustriais.

Tabela 8 - Variação do Aumento proteico (%) ao longo da fermentação.

Exp.	Concentração de Levedura (%)	Concentração de moringa (%)	Aumento proteico (%)			
			0 h	4 h	20 h	40 h
1	4	60	16,74	27,23	52,80	76,41
2	0,2	20	141,00	166,02	159,50	229,42
3	2,1	100	0,00	0,00	0,00	12,44
4	2,1	60	65,72	59,0	66,80	60,59
5	0,2	100	2,27	2,27	24,48	21,44
6	4	20	240,58	252,28	156,25	257,60
7	4	100	0	0	18,42	23,73
8	0,2	60	119,05	130,0	81,79	69,66
9	2,1	20	158,20	170,7	210,68	203,95
10	2,1	60	48,71	51,26	52,87	64,00
11	2,1	60	49,60	44,65	59,12	67,18

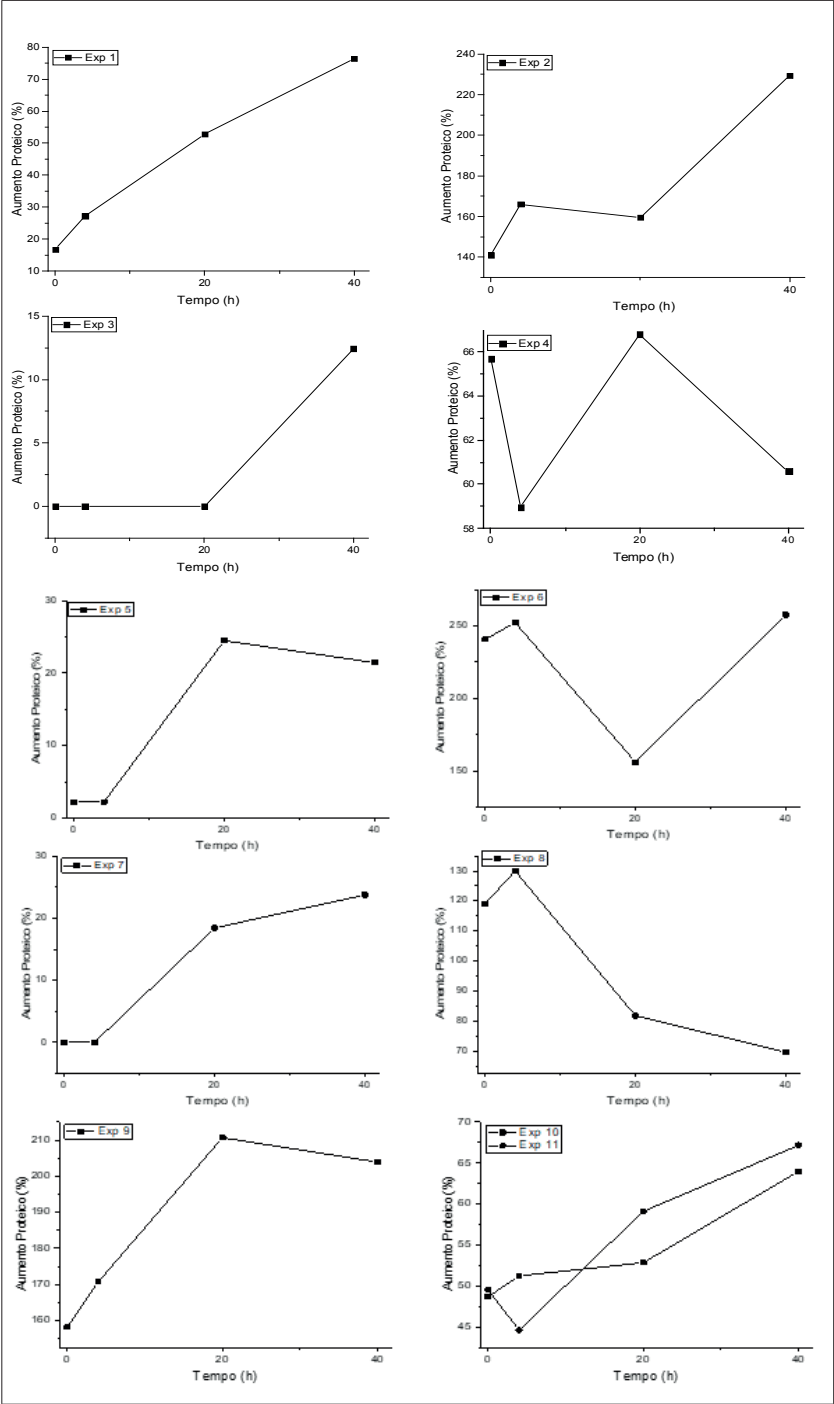
Fonte: Autoria própria (2025).

Com relação ao aumento proteico (Tabela 8), observa-se que o maior percentual foi obtido no experimento 6, com 257,60% de aumento proteico após 40 h. Nos tratamentos com 100% de moringa, o aumento proteico foi menos acentuado, variando entre 12,44% e 23,73%, o que sugere limitação na assimilação de nutrientes pela levedura devido à menor disponibilidade de açúcares simples e à maior presença de componentes estruturais no material vegetal.

De acordo com Santos *et al.* (2018), a fermentação semissólida requer, como qualquer processo biotecnológico, condições biológicas, físicas e químicas, e ambientais que influenciam o processo fermentativo, tempo de fermentação, temperatura, substrato e concentração de levedura são algumas das condições envolvidas e determinantes para alcançar um bom enriquecimento proteico. De forma geral, o incremento no teor de proteína foi progressivo até 40 h, tempo em que o processo apresentou os melhores resultados globais, confirmando a eficiência da fermentação semissólida na melhoria do valor nutricional do substrato.

A evolução do aumento proteico ao longo do tempo pode ser visualizada na Figura 3, que apresenta o comportamento individual de cada experimento durante o processo fermentativo.

Figura 3 - Evolução do aumento proteico ao longo do tempo.



A metodologia de superfície de resposta (MSR) tem se destacado como uma ferramenta estatística importante para a otimização de bioprocessos, permitindo a avaliação simultânea dos efeitos principais e das interações entre variáveis independentes sobre uma resposta de interesse (Wang *et al.*, 2020).

Essa abordagem possibilita identificar as condições experimentais ideais que maximizam a eficiência do processo, além de contribuir para a redução de custos operacionais e melhor aproveitamento dos substratos. Nesse contexto, a otimização dos parâmetros de concentração de moringa e concentração de levedura foi conduzida com base em um planejamento fatorial 3^2 , acrescido de dois pontos centrais, realizados em duplicata, totalizando 22 experimentos para o enriquecimento proteico da semente de moringa durante 40 h de fermentação.

A relação quantitativa entre o aumento do teor proteico e os diferentes níveis desses fatores foi analisada por meio da metodologia de superfície de resposta, permitindo determinar as condições otimizadas do processo. Os resultados obtidos e a análise de variância (ANOVA) referentes ao incremento proteico estão apresentados na Tabela 9, evidenciando em negrito a significância estatística dos fatores estudados e suas interações sobre a resposta analisada.

A Tabela 9 apresenta os resultados da análise de variância (ANOVA) para o aumento proteico obtido após a fermentação semissólida.

Tabela 9 - Resultados da ANOVA para o aumento proteico.

Fator	Soma Quadrática	Grau de Liberdade	Média Quadrática	F	P
C_M(L)	66859,59	1	66859,59	6155,69	0,000162
C_M(Q)	7041,33	1	7041,33	648,29	0,001539
C_L(L)	230,89	1	230,89	21,26	0,043963
C_L(Q)	902,76	1	902,76	83,12	0,011819
C _M (L) C _L (L)	167,57	1	167,57	15,43	0,059126
C_M(L) C_L(Q)	288,22	1	288,22	26,54	0,035680
C _M (Q) C _L (L)	24,00	1	24,00	2,21	0,275511
C _M (Q) C _L (Q)	156,59	1	156,59	14,42	0,062890
Erro	21,72	2	10,86		
Total SS	77436,70	10			

Fonte: Autoria própria (2025).

Verifica-se na Tabela 9 que os termos lineares e quadráticos da concentração de moringa ($C_M(L)$ e $C_M(Q)$) foram altamente significativos ($p < 0,01$), demonstrando que a moringa exerce influência predominante sobre o aumento proteico do processo.

Os efeitos linear e quadrático da concentração de levedura ($C_L(L)$ e $C_L(Q)$) também se mostraram significativos ($p < 0,05$), evidenciando que a quantidade de microrganismo inoculado afeta de modo consistente a conversão proteica. Essa influência pode estar relacionada à disponibilidade de nutrientes e à atividade metabólica da biomassa em diferentes níveis de inoculação.

Entre as interações, destacou-se a combinação $C_M(L) \times C_L(Q)$, indicando que o efeito da moringa sobre o enriquecimento proteico depende do nível quadrático da levedura, o que pode refletir sinergias ou limitações no balanço entre substrato e biomassa. As demais interações apresentaram tendência à significância ($p \approx 0,06$), sugerindo que, embora não significativas ao nível de 5%, podem possuir efeito prático relevante para o comportamento do processo.

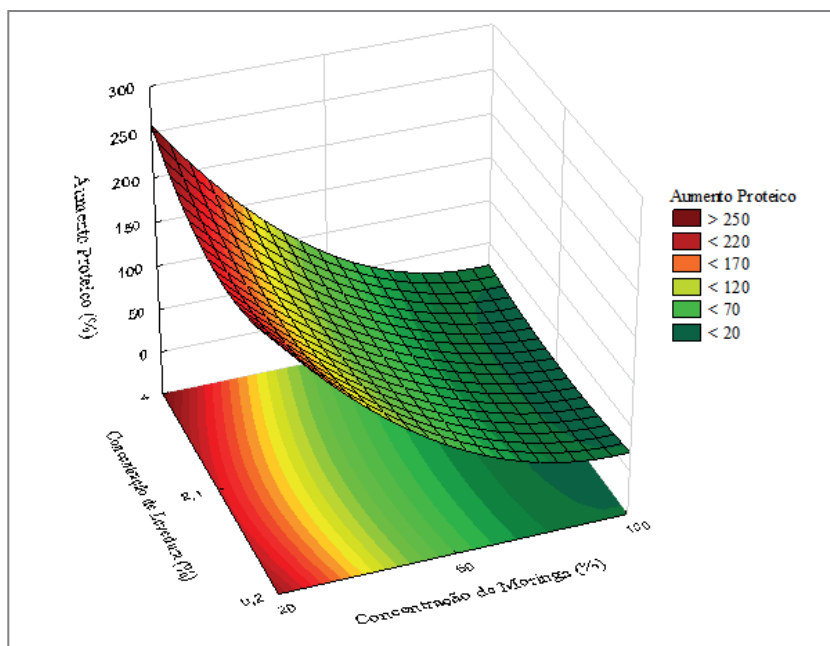
O erro residual reduzido indica boa consistência dos dados experimentais, evidenciando que as variações não explicadas são pequenas e aleatórias, o que reforça a confiabilidade estatística dos resultados obtidos.

A partir dos dados experimentais e da análise de variância, foi ajustado um modelo de segunda ordem para descrever o comportamento do aumento proteico (AP) em função dos fatores concentração de moringa (C_M) e de levedura (C_L). A equação empírica obtida é apresentada a seguir:

$$\begin{aligned} AP (\%) = & 63,92 - 95,76 C_M(L) + 44,26 C_M(Q) + 3,37 \\ & C_L(L) + 9,11 C_L(Q) - 6,47 C_M(L) C_L(L) - 14,70 C_M(L) \\ & C_L(Q) + 4,24 C_M(Q) C_L(L) + 15,74 C_M(Q) C_L(Q) \end{aligned} \quad (2)$$

O modelo apresentou um coeficiente de determinação (R^2) de 0,9997, indicando excelente ajuste e elevada capacidade preditiva. Esse valor demonstra que praticamente toda a variação observada na resposta experimental pode ser explicada pelas variáveis independentes incluídas no modelo. O baixo erro residual verificado na ANOVA confirma a adequação do ajuste e a reprodutibilidade experimental, reforçando a confiabilidade dos resultados. A Figura 4 apresenta a superfície de resposta obtida para o aumento proteico após 40 h de fermentação.

Figura 4 - Superfície de resposta do efeito da concentração de moringa versus concentração de levedura tendo como resposta o aumento proteico do processo.



Fonte: Autoria própria (2025).

Verifica-se que a resposta apresenta redução progressiva à medida que a concentração de moringa aumenta, evidenciando que níveis mais elevados desse fator resultam em menor teor proteico no processo fermentativo. Esse comportamento está de acordo com o coeficiente linear negativo da moringa, que indica tendência de queda na resposta conforme o fator aumenta.

Por outro lado, o fator levedura apresentou efeito positivo moderado, com maiores valores de resposta próximos aos níveis intermediários e altos, sem alterar de forma significativa a tendência geral da superfície. Esse comportamento sugere que aumentos moderados de levedura favorecem a síntese proteica até o ponto de saturação, após o qual a resposta tende à estabilização.

A análise conjunta dos fatores mostra que o máximo aumento proteico previsto ocorre na região correspondente a 20% de moringa e 2,1 - 4% de levedura, resultando em valores superiores a 250% de incremento proteico. Essa condição representa o ponto ótimo dentro do domínio experimental, evidenciando um

efeito sinérgico entre baixa concentração de moringa e alta de levedura sobre o enriquecimento proteico da mistura fermentada por *Saccharomyces cerevisiae*.

CONCLUSÃO

Os resultados demonstraram que a combinação de sementes de *Moringa oleifera*, raquetes de *Nopalea cochenillifera* e levedura *Saccharomyces cerevisiae* constitui um sistema eficiente para o enriquecimento proteico por fermentação semissólida. A moringa destacou-se pelo alto teor de proteína e a palma forrageira pelo elevado teor de açúcares e umidade, proporcionando condições favoráveis ao metabolismo da levedura. O processo resultou em aumentos expressivos no teor de proteína bruta, sendo superiores a 250%, evidenciando o potencial biotecnológico do método. A análise estatística confirmou a predominância da moringa como principal fator de influência e apontou a condição ótima em 20% de concentração de moringa e 2,1- 4% de concentração de levedura. Assim, a fermentação semissólida mostrou-se uma alternativa sustentável e viável para o aproveitamento de biomassa vegetal no semiárido, com vistas à produção de insumos proteicos para alimentação animal.

REFERÊNCIAS

- AOAC International, **Official Methods of Analysis**, 22ª ed. Rockville: AOAC International, 2023.
- ARAÚJO, L. F.; AGUIAR, E. M.; COELHO, R. R. P.; LUCIANO, R. C.; BERNADINO FILHO, R.; NAVARRO, L. A. O. Enriquecimento nutricional da casca da mandioca (*Manihot esculenta*, crantz) por processo biotecnológico destinado à alimentação animal. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v.13, n.1, p.18-30, 2017. DOI: 10.17766/1808-981X.2017v13n1p18-30.
- BARAKAT, H.; GHAZAL, G. Physicochemical Properties of *Moringa oleifera* Seeds and Their Edible Oil Cultivated at Different Regions in Egypt. **Food and Nutrition Sciences**. v.7, p.472-484, 2016. DOI: 10.4236/fns.2016.76049.
- BOUMENJEL, A.; PAPADOPOULOS, A.; AMMARI, Y. Growth response of *Moringa oleifera* (Lam) to water stress and to arid bioclimatic conditions. **Agroforestry Systems**, v. 95, n. 5, p. 823-833, 2020. DOI: 10.1007/s10457-020-00509-2.
- CANEDO, M. S.; PAULA, F. G.; SILVA, F. A.; VENDRUSCOLO, F. Protein enrichment of brewery spent grain from *Rhizopus oligosporus* by solid-state fermentation. **Bioprocess and Biosystems Engineering**, v. 39, n. 7, p. 1105-1113, 2016. DOI: 10.1007/s00449-016-1587-8.

CORREIA, R.; MAGALHÃES, M.; MACEDO G. Protein enrichment of pineapple waste with *Saccharomyces cerevisiae* by solid state bioprocessing. **Journal of Scientific and Industrial Research**, v.66, p.259-262, 2007.

GERVASI, T.; PELLIZZERI, V.; CALABRESE, G.; DI BELLA, G.; CICERO, N.; DUGO, G. Production of single cell protein (SCP) from food and agricultural waste by using *Saccharomyces cerevisiae*. **Natural product research**, v. 32, n. 6, p. 648-653, 2018.

MACEDO, A. D. B. **Enriquecimento proteico da palma forrageira e do sisal por fermentação semissólida**. [s.l.] Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, 2016.

MACEDO, A. D. B. *et al.* Bioconversão da Palma Forrageira e do Sisal como Alternativa para Alimentação Animal. **Blucher Chemistry Proceedings**, v. 3, n.1, 2015.

MAHOUR, P.K.; LAL, A.B.; KHARE, A.; CHAUHAN, D.S. Preparation and optimization of moringa leaf powder for edible purpose. **Journal of the Indian Chemical Society**, p. 100377-100384, 2022.

MALAGUIAS, A. B.; SILVA, G. B.; CAMPOS, A. R. N. **Bioconversão da maniçoba (*Manihot pseudoglaziovii*) associada a palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill)**. Anais do VII CONAPESC. Campina Grande: Realize Editora, 2022.

MEHLOMAKULU, N. N.; EMMAMBUX, M. N. Nutritional Quality of Wet and Dry Processed *Moringa oleifera* Lam. Leaves: A Review. **Food Reviews International**, p. 1-21, 2020.

MOURA, A.S.; SOUZA, A.L.G.; OLIVEIRA JUNIOR, A.M. *et al.* **Caracterização físico-química da folha, flor e vagem de Moringa (*Moringa oleifera* Lamarck)**. In: ENCONTRO NACIONAL DE MORINGA, 2010, Aracaju. Anais... Sergipe: [s.n.], 2010.

MUTAYOBA, S.K.; DIERENFELD, E.; MERCEDES, V.A. *et al.* Determination of chemical composition and ant-nutritive components for Tanzanian locally available poultry feed ingredients. **Revista Internacional de Ciência Avícola**, v.10, p.350-357, 2011.

OLIVEIRA, P. V. C.; OLIVEIRA, P. V. C.; RODRIGUES, S. C.; MELO, A. M. P.; SILVA, R. N. L.; AZEVEDO NETO, C. O.; NOGUEIRA, H. C. Utilização de *Moringa oleifera* na alimentação animal. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 53881-53893, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-872>.

PASSOS, M. A. B. Plantas alimentícias não convencionais (PANC) ocorrentes em Roraima. **Revista Eletrônica Científica Ensino Interdisciplinar**, v. 5, n. 14, p. 388-404, 2019. DOI: 10.21920/recei72019514388404.

PRUKSASRI, S.; WOLLINGER, K. K.; NOVALIN, S. Transformação de farelo de arroz em proteína unicelular, proteína extraída, solfibras alimentares duplas e insolúveis, e minerais. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.99, n.11, p. 5044-5049. DOI: 10.1002/jsfa.9747, 2019.

SANTANA NETO, D. C.; ONIAS, E. A.; ARAÚJO, J. S. F.; ALVES, A. M. A.; SILVA, O. S. Avaliação do processo de enriquecimento proteico de resíduo de abacaxi. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.12, n.1, p.95-99, 2017. DOI: 10.18378/rvads.v12i1.4625.

SANTOS, P. S.; SOLIDADE, L. S.; SOUZA, J. G. B.; LIMA, G. S.; BRAGA JÚNIOR, A. C. R.; ASSIS, F. G. V.; LEAL, P. L. Solid-state fermentation in agroindustrial residues for enzymes productions: a systematic review. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v.4, n.2, p.1-8, 2018.

SANTOS, T. C.; ROCHA, T. J. O.; OLIVEIRA, A. C.; ABREU FILHO, G. A.; FRANCO, M. *Aspergillus niger* como produtor de enzimas celulolíticas a partir de farelo de cacau (*Theobroma cacao*). **Arquivos do Instituto Biológico**, v.80, n.1, p.65-71, 2013.

TIBCO Software Inc. TIBCO Statistica, version 14.0.0; TIBCO Software Inc.: Palo Alto, CA, USA, 2020.

WANG, T.; LU, Y.; YAN, H.; LI, X.; WANG, X.; SHAN, Y.; YI, Y.; LIU, B.; ZHOU, Y.; LÜ, X. Fermentation optimization and kinetic model for high cell density culture of a probiotic microorganism: *Lactobacillus rhamnosus* LS8. **Bioprocess and Biosystems Engineering**, v. 43, p. 515-528, 2020. DOI: 10.1007/s00449-019-02246-y.

VIABILIDADE DA EXTRAÇÃO DE DNA EM AMOSTRAS DE CAFÉ TORRADO COM DEGRADAÇÃO GENÔMICA

Andressa Moreira de Souza
Embrapa Agroindústria de Alimentos

Otniel Freitas Silva
Embrapa Agroindústria de Alimentos

Bruna Valentim da Silva
Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO)

Cleverson Busso
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Ricardo Schneider
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Alessandra de Souza Teixeira
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Gustavo Pontes
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Gustavo Nicolodelli
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

RESUMO

Objetivo: O presente estudo teve como objetivo avaliar diferentes protocolos de extração de DNA em amostras de café, tanto verde quanto torrado, visando estabelecer um método capaz de garantir maior eficiência nas reações de qPCR utilizadas para genotipagem de espécies de café com elevado grau de degradação do DNA genômico, uma vez que o processo de torra compromete a pureza do DNA isolado e reduz significativamente a quantidade disponível para extração.

Métodos: Foram analisadas amostras de café torrado, classificadas como escuro na escala de 35 Agtron, e de café verde provenientes de seis estados. Essas amostras foram submetidas à extração de DNA utilizando cinco protocolos de kits comerciais e seis protocolos desenvolvidos *in house*. Em seguida, foram conduzidas reações de amplificação para avaliar tanto a pureza do DNA obtido quanto a eficiência dos diferentes protocolos testados. **Resultados:** Os protocolos correspondentes aos métodos (E) e (K) demonstraram os resultados mais satisfatórios, tanto em relação à pureza do DNA obtido quanto à eficiência das reações de amplificação. **Conclusão:** O protocolo *in house* do método (K), desenvolvido neste estudo, gerou DNA com qualidade adequada para análises de qPCR, permitindo a genotipagem das espécies de *C. arabica* e *C. canephora* por meio de discriminação alélica, após a aplicação da técnica de pré-amplificação.

Palavras-chave: *Coffea*; Discriminação Alélica; Genotipagem; Protocolo de Extração; kit.

INTRODUÇÃO

O café, devido ao seu alto valor de mercado e significativa importância comercial, ocupa a sétima posição dentre os dez principais produtos alimentares que possuem maior risco de fraude (BURNS; WALKER, 2020). Práticas frequentes envolvem desde adulterações na qualidade dos grãos com mistura de espécies ou grãos defeituosos, até mesmo a adição de elementos estranhos, que podem ser de outras partes ou não da planta (TOCI *et al.*, 2016; PEREZ *et al.*, 2021).

Existem duas espécies de café mais comercializadas no mundo, o *Coffea arabica* ou popularmente conhecido como café arábica que apresenta aromas mais complexos, e o *Coffea canephora* ou também conhecido como robusta que tende a apresentar um aroma mais amargo. O CAFÉ arábica além de ter notas mais elaboradas e refinadas, é tradicionalmente cultivado em áreas elevadas apresentando maior susceptibilidade a doenças, por isso, tende a ter maior valor no mercado o que torna constante a prática de misturas com o café robusta (WANG; LIM; FU, 2020). Há relatos que entre 5 a 20% dos denominados cafés “100% arábica” no mundo estejam adulterados com misturas de café robusta (GUNNING *et al.*, 2018). Um estudo de revisão identificou vinte e nove tipos de adulterantes empregados no café, muitos deles fazendo parte da própria planta. Devido à similaridade química, não são detectados por ferramentas analíticas convencionais (CARVALHO COUTO *et al.*, 2022).

A identificação de cafés adulterados com confiabilidade ainda permanece um grande desafio. No Brasil, a legislação atual adota o método microscópico e visual, onde impurezas e matérias estranhas presentes no café torrado e moído são visualizados em lâminas com o auxílio de um microscópio estereoscópico (ANVISA/MS, 2022). Este método, além de ser demorado, depende da experiência do analista e que muitas vezes acaba sendo subjetivo e de baixa confiabilidade (MENDES *et al.*, 2016). Além disso, na moagem há uma clara dificuldade de diferenciação das espécies utilizadas na mistura. Métodos de biologia molecular como genotipagem de polimorfismo de nucleotídeo único (SNP) por reação em cadeia da polimerase quantitativa (qPCR) e mais recentemente a Espectroscopia de Quebra Induzida por Laser (LIBS), podem ser uma alternativa interessante para mitigar o problema.

Muitas técnicas têm sido desenvolvidas a fim de determinar parâmetros apropriados e marcadores para diferentes tipos de adulteração em café torrado e moído. Técnicas de biologia molecular como a PCR-RFLP (Análise de Polimorfismo de Fragmentos de Restrição utilizando a Reação de Cadeia da Polimerase) permitem diferenciar espécies pela análise de diferentes padrões (fragmentos) de DNA gerados com o uso de nucleases de restrição. Existem diferentes regiões genéticas conservadas em plantas que podem ser utilizadas como padrão molecular, exemplos são os genes envolvidos na transcrição do RNA ribossômico, bem como genes associados ao genoma do cloroplasto em café (SPANIOLAS *et al.*, 2006; MANNINO *et al.*, 2023). Embora essa técnica é conhecida pela alta confiabilidade dos resultados, é necessário que a amostra apresente condições mínimas de extração íntegra de material genético. Torras escuras e a presença de enzima inibidoras podem ser um problema, hoje na maioria das vezes contornada pelo aperfeiçoamento dos protocolos existentes (BOLÍVAR-GONZÁLEZ *et al.*, 2023). Inúmeros protocolos foram desenvolvidos com o intuito de ter uma amplificação satisfatória do material genético do café em uma amostra (MARTELLOSI *et al.*, 2005).

A extração de ácidos nucleicos é o ponto de partida em qualquer estudo de biologia molecular e, portanto, é considerado um processo crucial. Um protocolo de extração de DNA eficiente deve ser simples, acessível e produzir DNA suficiente com alta qualidade. Atualmente, os métodos de extração de ácidos nucleicos comumente usados são o brometo de cetiltrimetilamônio (CTAB) e kits de extração comerciais (SINGH *et al.*, 2021). A membrana de sílica é um bom material para extração de ácido nucleico. O DNA pode ser rapidamente adsorvido e eluído usando membranas de sílica em diferentes concentrações de sal (WANG; LIM; FU, 2020; ZHAO *et al.*, 2021). O processamento de alimentos associado ao excesso de calor, atividade de nucleases e pH baixo contribuem para a degradação do DNA, que se torna mais comum em produtos com vida de prateleira longa. A detecção de DNA através da reação de PCR é dificultada em produtos processados por conta do alto nível de degradação e inibidores presentes nas substâncias contidas nos alimentos além das transformadas pelos processamentos, como compostos fenólicos de torra, caramelização de açúcares entre outros. Por esse motivo, é fundamental a utilização de controles de qualidade para evitar resultados falso-negativos, por baixa pureza de

DNA, porque apesar de testes de PCR apresentarem capacidade de detectar DNA em amostras de baixa qualidade, a presença de moléculas inibidoras nos extratos de DNA pode interferir nos resultados das amplificações (SAJIB; BHUIYA; HUQUE, 2017).

Segundo Tan e Yiap (2009), em uma extração de DNA quatro etapas são indispensáveis na purificação de ácidos nucleicos: ruptura do tecido, desnaturação da nucleoproteína, inativação de nuclease e remoção de contaminantes e inibidores da reação em cadeia da polimerase (PCR). Dessa forma, pode-se dizer que um dos maiores desafios para extração de DNA em uma matriz alimentar complexa está na presença de inibidores que podem ser co-purificados com o DNA durante a etapa de extração, o que pode reduzir a eficiência da PCR (COELLO *et al.*, 2017). O DNA isolado pode ser utilizado em uma variedade de aplicações em biologia molecular, incluindo amplificações por PCR, qPCR, sequenciamento, NGS, genotipagem, mapeamento de restrição, clonagem entre outras técnicas. Sendo assim, o DNA deve ser isolado, purificado e concentrado por métodos que garantam a quantidade e a qualidade do DNA necessária de acordo com a aplicação (KAPP *et al.*, 2015, VAHDANI; SAHARI; TANAVAR, 2024). Para uma extração de DNA de alta performance é desejável que não haja presença de RNA, inibidores de PCR e nem DNA fragmentado por cisalhamento de extração, bem como, não fazer uso de reagentes tóxicos neste processo.

Alguns fatores devem ser considerados ao escolher um método apropriado incluem características da amostra como quantidade, tipo, grau de processamento e origem, além de outros fatores como custo, tempo, simplicidade do processo, que afeta a integridade do DNA, equipamento necessário, toxicidade e descarte de reagentes, rendimento e pureza do DNA (DAIRAWAN; SHETTY, 2020).

A avaliação da pureza do DNA medindo a razão de absorbância a 260 nm e 280 nm (A_{260}/A_{280}) é uma técnica amplamente utilizada para indicar a presença de, por exemplo, peptídeos residuais e proteínas. Esses compostos exibem forte absorção em torno de 280 nm, produzindo assim baixas razões A_{260}/A_{280} quando coexistem com DNA. Usualmente, uma razão A_{260}/A_{280} variando de 1,7 a 2,0 é aceita como indicativa de DNA puro (HASSAN *et al.*, 2015). Notadamente a absorbância de 260 nm é a mesma entre nucleotídeos, DNA de fita simples e dupla (ss-/ds-) e RNA, o que pode levar a proporções de pureza e concentrações de dsDNA errôneas e superestimadas (VERSMESSEN

et al., 2024). A razão A260/A230 representa outro parâmetro para quantificação espectrométrica de DNA, na qual a razão deve estar entre 2,0 e 2,2 para ser considerado DNA livre de contaminantes, pois razões menores que 2,0 podem significar a presença de contaminantes absorventes de 230 nm, como lipídios, sais e fenóis (LIU; AVRAMOVA; PARK, 2009; USMAN *et al.*, 2014).

A obtenção de DNA do cafeeiro é vista como um processo desafiador e complicado, uma vez que a espécie está propensa a uma alta oxidação, principalmente em suas folhas e frutos. O composto fenólico ácido 5-cafeoilquínico, também chamado de ácido clorogênico (CGA), principal substrato da polifenoloxidase (PFO), é encontrado em grandes quantidades nesses tecidos. Esse composto atua como um mecanismo de defesa contra predadores no organismo da planta, porém sua oxidação representa um grande desafio para a extração de DNA (GOMES, 2019). Os principais desafios na extração de DNA envolvem a obtenção de uma amostra em grande quantidade e qualidade, devido à alta concentração de fenóis em suas folhas, o que pode comprometer os métodos empregados na extração. Isso ocorre porque esses compostos escurecem a amostra e a tornam viscosa, reduzindo sua vida útil e impedindo a realização das etapas subsequentes de análises moleculares (TIBBITS *et al.*, 2006; GOMES, 2019). O grau de complexidade de matrizes alimentares varia de acordo com a sua composição. Alimentos in natura, processados e ultraprocessados apresentam níveis variados tanto de compostos, quanto de concentração, o que pode dificultar a obtenção de DNA com pureza e integridade adequados, assim interferindo no diagnóstico molecular preciso, na identificação inequívoca de espécies e no sequenciamento completo de genomas de espécies. A eficiência de qualquer PCR pode ser avaliada realizando um experimento de série de diluições utilizando o ensaio alvo. Após definir corretamente a linha de base e o limite, a inclinação da curva padrão pode ser convertida em um valor de eficiência. A faixa de eficiência ideal para qPCR deve estar entre 90–100% ($-3,58 \geq \text{inclinação} \geq -3,32$). Se a eficiência for 100%, os valores da diluição seriada de 10 vezes serão separados por 3,3 ciclos. Se a inclinação estiver abaixo de -3,58, a PCR tem baixa eficiência (THERMO FISHER SCIENTIFIC, 2025).

No estudo de Santos (2013) observamos que amostras de café in natura (grão verde/cru) apresentaram resultados de extração de DNA em ng/ μ L de $127,5 \pm 35,5$ com variações nas razões A260/A280 $2,0 \pm 1,9$ e A260/A230 $0,6 \pm$

0,5, usando um método híbrido DNeasy Mini Plant/CTAB. Isolados de DNA de amostras de cafés processados (grão torrados) utilizando o protocolo CTAB, obtiveram resultados de DNA em ng/ μ L de $24,9 \pm 3,6$ com razões A260/A280 e A260/A230 de $1,7 \pm 1,3$ e $1,9 \pm 2,1$, respectivamente, indicando variações de pureza e eficiência de 83, 4% (FRANÇA *et al.*, 2023). Mesmo em amostras da parte foliar de plantas de café a extração de DNA apresenta contaminantes como compostos fenólicos e polissacarídeos difíceis de serem removidos, como observado na extração com SDS/Tris-EDTA/Triton, que apresentaram resultados de DNA em ng/ μ L de $205,47 \pm 115,08$ com razões A260/A280 $1,6 \pm 0,3$ e A260/A230 $1,4 \pm 0,2$ (GOMES, 2019).

MÉTODOS

Protocolo de extração *in house*

Foram testados protocolos extração *in house* para café torrado no ponto de torra de classificação escura na escala de 35 Agtron e café verde, como descritos abaixo, de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. Montagem de protocolos de extração *in house*.

Reagentes	Métodos de extração de DNA <i>in house</i>					
	CTAB modificado 1	CTAB modificado 2	SDS/STE com F:C 1	SDS/STE com F:C 2	SDS/STE modificado 1	SDS/STE modificado 2
Amostra	1000 mg	250 mg	250mg	250 mg	250 mg	250 mg
Tampão de lise CTAB (pH=8)	x	x	-	-	-	-
Tampão de lise SDS/STE (pH=8)	-	-	overnight	x	x	x
NaOH 1M	-	-	-	-	x	x
Proteinase K 20 mg/mL	x	x	x	x	x	x
Incubar 65°C/ vortexar	30 min./10 min.	01:30h/10 min.	2h/30min.	2h/ 30min.	30min./ 10min. (2x) Coef. Partição	30min./ 10min. (3x) Coef. Partição
Rnase 10mg/mL	x	x	x	x	x	x
Pérolas de vidro	-	x	x	x	x	x
Carvão ativo/ sílica	-	x	x	x	x	overni- ght
Carvão ativo	x	-	x	x	x	x
Sílica	-	x	x	x	-	x
Solução de precipitação CTAB	x	x	-	-	-	-
Clorofórmio	-	x	-	-	x	x
Fenol:Clorofórmio	-	-	x	x	-	-
NaCl 1,2M	x	x	-	-	-	-
Acetato de sódio 3M	-	-	x	x	x	x
Isopropanol	x	x	x	x	x	x
Etanol 70%	x	x	x	x	x	x
Etanol absoluto	-	x	x	x	x	x
Água ultrapura	x	x	x	x	x	x
Coluna de limpeza	amostras torradas	amostras torradas	-	-	x	x

Fonte: Laboratório de diagnóstico molecular – Embrapa Agroindústria de Alimentos. Legenda: F:C = Fenol:Clorofórmio; CTAB = brometo de cetiltrimetilamônio e SDS/STE = dodecil sulfato de sódio/tampão sódio Tris-EDTA.

- Protocolo de extração baseado em CTAB modificado.
- Protocolo de extração baseado em dodecil sulfato de sódio/tampão sódio Tris-EDTA (SDS/STE) com Fenol/clorofórmio.

Protocolo de extração com kits comerciais

Foram selecionados os kits comerciais para extração de café torrado no ponto de torra de classificação escura na escala de 35 Agtron e café verde, como descritos abaixo:

- DNeasy mericon Food Kit nº de catálogo 69514.
- Wizard® Genomic DNA Purification kit nº de catálogo A1125 – protocolo 3.E.
- Wizard® SV Genomic DNA Purification System nº de catálogo A2360 – protocolo 4C.
- ZymoBIOMICS DNA Miniprep Kit nº de catálogo D4300 e um protocolo modificado utilizando o filtro de limpeza Zymo-Spin™ III-HRC Filter do mesmo kit, também na etapa inicial, após a primeira centrifugação do material com tampão de lise.

RESULTADOS

Para fins de comparação do comportamento da extração de DNA de café, utilizou-se amostras de café torrado na classificação escura na escala de 35 Agtron (Figura 1), de 6 estados - Paraná, Minas Gerais, São Paulo, Bahia, Espírito Santo e Rondônia, sendo um pool de amostras representativas da espécie arábica (MG, SP, PR, BA, ES) e um pool de amostras representativas da espécie canéfora (ES e RO), além de amostras de café verde (grão cru).

Figura 1. Classificação por meio de coloração de café torrado em sistema de disco Agtron.



Fonte: SCAA – Specialty Coffee Association of America (Associação Americana de Café Especiais).

Extração e quantificação de DNA

As amostras foram submetidas a cada método em triplicata. A média dos resultados de extração de DNA, quantificações e suas razões foram descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados de quantidade e pureza de DNA.

Método	Grão verde/cru			Grão torrado		
	[DNA] ng/μL	Razão A260/A280	Razão A260/A230	[DNA] ng/μL	Razão A260/A280	Razão A260/A230
A	-	-	-	75,6	1,5	0,9
B	143,1	1,2	0,4	33,8	1,2	0,5
C	20,7	1,7	1,1	27,7	1,2	0,4
D	36,1	1,9	1,2	0,9	2,4	0,8
E	146,6	1,8	1,9	70,1	1,4	0,4
F	142,5	1,5	1,1	68	1,5	0,8
G	-	-	-	74,5	1,5	1,0

H	314,5	1,2	0,8	137,8	1,5	1,1
I	214,8	1,4	1,2	107,7	1,5	1,2
J	-	-	-	120,8	1,5	1,3
K	163,9	1,7	1,6	113,3	1,5	1,6

Fonte: Laboratório de diagnóstico molecular – Embrapa Agroindústria de Alimentos. **Legenda:** Métodos – (A): DNeasy mericon Food Kit; (B): Wizard® Genomic DNA Purification kit A1125; (C): Wizard® SV Genomic DNA Purification System A2360; (D): ZymoBIOMICS DNA Miniprep Kit D4300; (E): ZymoBIOMICS DNA Miniprep Kit D4300 modificado; (F): CTAB modificado 1; (G): CTAB modificado 2; (H): SDS/STE com fenol:clorofórmio 1; (I): SDS/STE com fenol:clorofórmio 2; (J): SDS/STE modificado 1 e (K): SDS/STE modificado 2.

DISCUSSÃO

Cafés são ricos em polissacarídeos e compostos fenólicos, tornando o processo de extração de DNA mais dificultoso. Devido às suas características químicas, os polissacarídeos co-precipitam com o DNA, conferindo viscosidade às soluções. Mesmo as amostras de café verde, durante o processo de extração de protocolos que utilizam temperatura, a solução escurece devido à oxidação de compostos fenólicos, como terpenoides e taninos, que se ligam de forma irreversível ao esqueleto fosfato do DNA. Nos protocolos *in house* e no kit comercial do método (B), em que as amostras foram submetidas à lise térmica a 65 °C, observou-se a presença de contaminantes capazes de inviabilizar o uso do DNA em análises moleculares, por interferirem na ação da polimerase ou das endonucleases. Em contraste, os melhores níveis de pureza de DNA em amostras de café verde foram obtidos nos protocolos de kits comerciais que empregaram lise mecânica e/ou enzimática, associada ao uso de membranas de sílica. Entre eles, destacou-se o protocolo modificado do kit comercial do método (E), que apresentou o maior nível de pureza, conforme estabelecido pela literatura e evidenciado na Tabela 2 e na Figura 2, referente ao espectro de quantificação obtido no Espectrofotômetro UV-Vis de microvolume NanoDrop™ OneC.

Figura 2. Espectro de isolado de DNA com alto nível de pureza.



Fonte: Laboratório de diagnóstico molecular – Embrapa Agroindústria de Alimentos.

O protocolo de extração de DNA do método (K), aplicado tanto em amostras de café verde quanto torrado, apresentou nível adequado de pureza para utilização em qPCR após a etapa de pré-amplificação.

Para avaliar a eficiência das reações, o isolado obtido pelo método (E) em café verde foi adotado como referência, por apresentar elevada razão de pureza. As amplificações dos isolados de DNA de café torrado, provenientes de todos os protocolos, foram comparadas com esse isolado de referência. Ressalta-se que os isolados de café torrado necessitam de pré-amplificação para uso em qPCR destinado à genotipagem. O DNA extraído pelo método (K) demonstrou eficiência de reação superior a 90% em qPCR, valor considerado aceitável pela literatura, enquanto os demais protocolos apresentaram eficiência entre 80% e 89%. Até então, não havia sido relatada em estudos uma eficiência próxima de 90%.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos permitiram concluir que, especificamente para amostras de café torrado, o protocolo *in house* desenvolvido neste estudo, e baseado em uma combinação de lise térmica, mecânica e enzimática, associada

ao uso de reagentes adsorventes como carvão ativo e sílica, assim podendo apresentar desempenho superior. Esse protocolo foi capaz de gerar isolados de DNA com qualidade adequada, atendendo aos requisitos necessários para estudos de genotipagem de café e demonstrando potencial para aplicação em análises moleculares de amostras com elevado nível de degradação. Ainda foi possível concluir que a eficiência de reação pode ser observada após o uso da técnica de pré-amplificação.

Agradecimentos

Ao financiamento à pesquisa, desenvolvimento e inovação para a cafeicultura brasileira por meio da EMBRAPA/CONSÓRCIO PESQUISA CAFÉ.

REFERÊNCIAS

- ANVISA/MS **Resolução RDC nº 623 de 09 de março de 2022**. Dispõe sobre os limites de tolerância para matérias estranhas em alimentos, os princípios gerais para o seu estabelecimento e os métodos de análise para fins de avaliação de conformidade. **DOU**, de 16 de março de 2022. Ed 51, Seção 1, pág. 119.
- BOLÍVAR-GONZÁLEZ, A. *et al.* SNP markers found in non-coding regions can distinguish among low-variant genotypes of Arabica and other coffee species. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 70, n. 4, p. 1215–1228, abr., 2023.
- BURNS, D. T.; WALKER, M. J. Critical Review of Analytical and Bioanalytical Verification of the Authenticity of Coffee. **Journal of AOAC international**, v. 103, n. 2, p. 283–294, 1 abr., 2020.
- CARVALHO COUTO, C. *et al.* Adulteration in roasted coffee: a comprehensive systematic review of analytical detection approaches. **International Journal of Food Properties**, v. 26, n. 1, p.231–258, 22 set., 2023.
- COELLO, R. P *et al.* Comparison of three DNA extraction methods for the detection and quantification of GMO in ecuadorian manufactured food. **BMC Research Notes**, v.10, n. 1, p.1–7, 2017.
- DAIRAWAN, M.; SHETTY, P.J. The evolution of DNA extraction methods. **American Journal of Biomedical Science & Research**, v. 8, p. 39–46, 2020.
- FRANÇA, T.C. de O. *et al.* Desenvolvimento de método biomolecular para detecção e quantificação de arroz em amostras de café através do sistema *Taqman*. **Ciência e Tecnologia de Alimentos: o avanço da ciência no Brasil**. Vol. 3 – Cap. 12, p. 157 – 170, 2023. Editora Científica Digital. Disponível em: <https://www.editoracientifica.com.br/books/chapter/230212195>. Acesso em: 10 nov. 2025.

GOMES, M. de L. **Extração de DNA de Coffea arabica L.** Orientadora: Terezinha Aparecida Teixeira. 2019. 25 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Biotecnologia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

GUNNING, Y. *et al.* 16-O-methylcafesol is present in ground roast Arabica coffees: Implications for authenticity testing. **Food Chemistry**, v. 248, p. 52–60, mai., 2018.

HASSAN, R.M.F. *et al.* Guidelines for nucleic acid detection and analysis in hematological disorders. **The Malaysian Journal of Pathology**, v. 37, n. 2, p.165–73, 2015.

KAPP, J.R. *et al.* Variation in pre-PCR processing of FFPE samples leads to discrepancies in BRAF and EGFR mutation detection: a diagnostic RING trial. **Journal of Clinical Pathology**, v. 68, p.111-118, 2015.

LIU, P.F.; AVRAMOVA, L.V.; PARK, C. Revisiting absorbance at 230nm as a protein unfolding probe. **Analytical biochemistry**, v. 389, n. 2, p.165–70, 2009. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ab.2009.03.028>

MANNINO, G.; KUNZ, R.; MAFFEI, M. E. Discrimination of Green Coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*) of Different Geographical Origin Based on Antioxidant Activity, High-Throughput Metabolomics, and DNA RFLP Fingerprinting. **Antioxidants**, v. 12, n. 5, p. 1135, mai., 2023.

MARTELLOSI, C. *et al.* DNA Extraction and Analysis from Processed Coffee Beans. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 22, p. 8432–8436, 1 nov., 2005.

MENDES, L. C. *et al.* Validação de método para determinação das impurezas cascas e paus em café torrado e moído. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 19, n. 0, 2016.

PEREZ, M. *et al.* Current strategies to guarantee the authenticity of coffee. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 63, n. 4, p. 539–554, 5 fev., 2021.

SAJIB, A. A.; BHUIYA, M. A. I.; HUQUE, R. A simple, efficient and rapid method for good quality DNA extraction from rice grains. **Rice Science**, v. 24, n. 2, p.119–122, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2016.09.003>

SANTOS, T. F. **Deteção de adulterantes em cafés comerciais brasileiros por PCR em tempo real.** Orientadora: Adriana Farah. 2013. 79f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

SINGH, M. *et al.* Efficient DNA extraction procedures for processed food derivatives—a critical step to ensure quality for GMO analysis. **Food Analytical Methods**, v. 14 n. 11, p 2249–2261, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12161-021-02051-y>

SPANIOLAS, S. *et al.* Authentication of Coffee by Means of PCR-RFLP Analysis and Lab-on-a-Chip Capillary Electrophoresis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 20, p.7466–7470, 1 out., 2006.

TAN S.C.; YIAP B.C. DNA, RNA, and protein extraction: the past and the present. **Journal of biomedicine & biotechnology**, 2009. Doi: <https://doi.org/10.1155/2009/5743982009>.

THERMO FISHER SCIENTIFIC. **Poor PCR efficiency.** Disponível em: <https://www.thermofisher.com/br/en/home/life-science/pcr/real-time-pcr/real-time-pcr-learning-center/real-time-pcr-basics/real-time-pcr-troubleshooting-tool/gene-expression-quantitation-troubleshooting/poor-pcr-efficiency.html>. Acesso em: 20 set. 2025.

TIBBITS, J.F.G. *et al.* A rapid method for tissue collection and high-throughput isolation of genomic DNA from mature trees. **Plant Molecular Biology Reporter**, v. 24, p. 81-91, 2006. Doi: <https://doi.org/10.1007/BF02914048>

TOCI, A. T. *et al.* Coffee Adulteration: More than two decades of research. **Critical Reviews in Analytical Chemistry**, v. 46, n. 2, p. 83–92, 3 mar., 2016.

USMAN, T.; YU, Y.; LIU, C.; FAN, Z.; WANG, Y. Comparison of methods for high quantity and quality genomic DNA extraction from raw cow milk. **Genet Mol Res.** 2014; 13(2):3319–28. Doi: <https://doi.org/10.4238/2014>

VAHDANI, M.; SAHARI, M.A.; TANAVAR, M. Quantitative and qualitative analysis of three DNA extraction methods from soybean, maize, and canola oils and investigation of the presence of genetically modified organisms (GMOs). **Food chemistry: Molecular sciences**, v. 8, 2024. Doi:10.1016/j.fochms.2024.100201

VERSMESSEN, N. *et al.* Comparison of DeNovix, NanoDrop and Qubit for DNA quantification and impurity detection of bacterial DNA extracts. **PLoS ONE**, v.19, n. 6, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0305650>

WANG, X.; LIM, L.-T.; FU, Y. Review of analytical methods to detect adulteration in coffee. **Journal of AOAC international**, v. 103, n. 2, p. 295–305, 1 abr., 2020.

ZHAO, X. *et al.* A simple methodology for RNA isolation from bacteria by integration of formamide extraction and chitosan-modified silica purification. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 413 n. 26, p. 6469–6477, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00216-021-03644-6>.

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO SENSORIAL DE NUGGETS DE CAMARÃO TIGRE (*PENAEUS MONODON*) COM DIFERENTES PROPORÇÕES DE MACAXEIRA E BATATA

Kevin Lisboa Rodrigues

Universidade Federal do Pará (UFPA)

Ana Claudia da Silva

Universidade Federal do Pará (UFPA)

Adão Melo de Sousa

Universidade Federal do Pará (UFPA)

Jhoab Fernandes Ramos

Universidade Federal do Pará (UFPA)

Aionã Stephanny Almeida Pinheiro

Universidade Federal do Pará (UFPA)

Leonnán Carlos Carvalho de Oliveira

Universidade Federal do Pará (UFPA)

Francisco Alex Lima Barros

Universidade Federal do Pará (UFPA)

Carlos Alberto Martins Cordeiro

Universidade Federal do Pará (UFPA)

RESUMO

Este estudo investigou o desenvolvimento de nuggets à base de carne do camarão tigre (*Penaeus monodon*), combinada com diferentes porcentagens dos tubérculos: macaxeira (*Manihot esculenta*) e batata comum (*Solanum tuberosum*). Os nuggets foram avaliados por meio de análise sensorial com 45 provadores não treinados, utilizando uma tabela contendo uma escala hedônica de nove pontos. A formulação com maior concentração de macaxeira se destacou nos atributos de aparência, textura e aceitação global, obtendo o maior índice de aceitabilidade (92,84%), seguida pelo de concentração mista (88,64%) e pelo de maior concentração de batata (78,02%). Os resultados mostraram que os nuggets à base de pescado são uma opção nutritiva, rica em proteínas e ácidos graxos essenciais, representando uma escolha mais saudável e nutritiva em comparação com os nuggets de frango tradicionais. Esses resultados sugerem que a introdução de nuggets à base de camarão tigre, em especial com o maior porcentagem de macaxeira, pode ser uma estratégia promissora para a diversificação de produtos no setor alimentício, além de incentivar o consumo desse crustáceo.

Palavras-chave: Diversificação de produto; pescado; alimentação; análise sensorial.

INTRODUÇÃO

A crescente necessidade de garantir a segurança alimentar global tem impulsionado a busca por fontes de proteína de alto valor nutricional e com menor impacto ambiental (Godfray *et al.*, 2010; FAO, 2020). Nesse cenário, a aquicultura assume um papel de destaque, e o cultivo do camarão tigre (*Penaeus monodon*) emerge como uma solução promissora. Reconhecido por seu alto teor proteico e perfil de ácidos graxos essenciais, o camarão (*Penaeus monodon*) é um crustáceo de grande importância comercial, com excelente aceitação no mercado e ampla aplicabilidade na indústria de alimentos processados (Hajeb & Jinap, 2012; Tidwell & Allan, 2001). Sua relevância econômica e nutricional o posiciona como uma alternativa viável para atender à demanda crescente por alimentos saborosos, saudáveis e produzidos de forma mais eficiente. Nativo da região do Indo-Pacífico, com ocorrência natural desde a costa oriental da África até o Japão e a Austrália (BENZIE, 2000), o *P. monodon* teve sua distribuição expandida por meio da aquicultura em diversas partes do mundo (FULLER *et al.*, 2014). No Brasil, foi introduzido na década de 1970 (LEÃO *et al.*, 2011) e atualmente já é encontrado nos ambientes marinhos dos estados do Norte e Nordeste, como Pernambuco, Alagoas, Maranhão, Amapá e Pará (COELHO *et al.*, 2001; FAUSTO FILHO, 1987; SILVA *et al.*, 2002; CINTRA *et al.*, 2011, 2014).

Embora considerada uma espécie exótica (WITTENBERG; COCK, 2001), o *P. monodon* passou a ser cultivado nacionalmente devido ao seu elevado potencial produtivo e comercial. É a segunda espécie de crustáceo mais cultivada no mundo, atrás apenas de *Litopenaeus vannamei*, com produção aquícola global de aproximadamente 695 mil toneladas em 2021, avaliada em 5,9 bilhões de dólares, sendo mais de 99% proveniente de países asiáticos (DERIS *et al.*, 2019; FAO, 2022). Na China, é considerada a principal espécie na aquicultura marinha (XIE *et al.*, 2016).

Apesar de sua expressiva importância econômica, o consumo de pescado no Brasil ainda é relativamente baixo em comparação a outras carnes, representando apenas 5% do consumo total de produtos de origem animal, frente a 43% de carne de frango, 39% de bovinos e 12% de suínos (CARVALHO; LEMOS, 2009). Nesse sentido, a diversificação de formas de apresentação do pescado pode favorecer sua inserção na rotina alimentar da população. A crescente busca

dos consumidores por alimentos práticos e de rápido preparo tem estimulado o desenvolvimento de produtos industrializados à base de pescado, como os empanados e os nuggets (PINTO, 2014), os quais se alinham às transformações no padrão de consumo geradas pela industrialização, globalização e ritmo acelerado de vida contemporâneo (ENES; SLATER, 2010; FERREIRA; AYDOS, 2010).

Paralelamente, ingredientes vegetais como a batata (*Solanum tuberosum*) e a macaxeira (*Manihot esculenta*), amplamente cultivados no Brasil, são fontes acessíveis de carboidratos, fibras e compostos bioativos (ALBUQUERQUE *et al.*, 1993). Seu uso na formulação de alimentos processados pode melhorar a textura, o rendimento e o valor nutricional dos produtos, além de contribuir para a valorização de ingredientes regionais e a redução de custos (ALBUQUERQUE *et al.*, 1993)

Diante disso, este trabalho teve como objetivo desenvolver nuggets à base de *Penaeus monodon*, adicionando diferentes proporções de batata e macaxeira. As amostras foram submetidas a análises de aceitação sensorial, viabilidade econômica e potencial alternativo, buscando-se identificar a combinação mais equilibrada entre sabor, custo-benefício e responsabilidade ambiental. Ao propor o uso racional de recursos naturais e incentivar o aproveitamento de ingredientes locais, este estudo visa contribuir para o desenvolvimento de produtos alimentícios mais funcionais e compatíveis com as necessidades do consumidor moderno e da indústria alimentícia nacional.

MATERIAL E MÉTODOS

Obtenção das Amostras

Os camarões tigre utilizados neste estudo foram fornecidos por curraleiros do Projeto currais de pesca Bragantinos, localizada na comunidade do Inferninho, no município de Bragança-PA. Após a coleta, os camarões foram acondicionados em uma caixa de isopor de 60L, contendo gelo. Após foram transportadas ao Laboratório de Probióticos e qualidade do pescado, localizado na Universidade Federal do Pará - *Campus Bragança*.

Formulação dos Nuggets

O trabalho resultou no processamento de 300g de carne do crustáceo para cada formulação, juntamente com seus ingredientes principais: 200g de cebola, 2 ovos, 40g de amido de milho e 10g de temperos a gosto. Para a formulação P1, foram utilizados 150g de batata e 350g de macaxeira como tubérculos. Já na formulação P2, foram incorporados 250g de batata e 250g de macaxeira, proporcionando uma distribuição igualitária entre os tubérculos, como indicado na tabela 1. Por fim, a formulação P3 contou com 350g de batata e 150g de macaxeira. Todos os ingredientes foram devidamente higienizados, pesados e homogeneizados até obtenção de uma massa uniforme, a qual foi moldada em formato de nuggets e posteriormente submetida ao processo térmico adequado para sua cocção.

Tabela 1 - Tabela com a composição de ingredientes de cada tratamento dos nuggets de camarão tigre.

Ingredientes (g)	P1 (75%M+25%B)	P2 (50%M+50%B)	P3 (75%B+25%M)
Camarão Tigre	300	300	300
Macaxeira	350	250	150
Batata	150	250	350
Cebola	200	200	200
Ovos	100	100	100
Amido de milho	40	40	40
Temperos a gosto	10	10	10

Foram triturados em um multiprocessador, moldados em formato de nuggets e congelados. O processo de fritura foi feito em óleo aquecido a 170°C durante 5 minutos.

As amostras foram nomeadas utilizando uma numeração aleatória que permitisse a diferenciação entre elas, sem com isso induzir os participantes da pesquisa na escolha da preferência. Para cada amostra foram adicionadas diferentes porcentagens dos tubérculos, sendo: 50% macaxeira e 50%batata (958), 75% batata e 25% macaxeira (158) e 75% macaxeira e 25% batata (750) (figura 1).

Figura 1 - Amostras de camarão tigre utilizadas na pesquisa.



Análise Sensorial

A análise sensorial foi realizada de acordo com as orientações do Instituto ADOLFO LUTZ (2008). Participaram do teste 45 provadores não treinados, selecionados aleatoriamente. Antes de iniciar a avaliação, os provadores foram informados sobre o produto, orientados e convidados a assinarem o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE, o qual esclarecia que a identidade de cada participante seria mantida em sigilo e relatava os riscos e benefícios que o presente estudo poderia trazer.

As amostras foram servidas em pratos plásticos descartáveis, codificadas com números aleatórios de três dígitos, padronizadas e servidas simultaneamente e de forma aleatória, juntamente com um copo de água e a ficha de avaliação sensorial. Logo em seguida, foram orientados a provarem as amostras da esquerda para a direita e fazer uso da água entre uma degustação e outra, para a remoção do sabor residual.

Os provadores avaliaram os atributos aparência, aroma, cor, textura, sabor e aspecto global, além da intenção de compra, frequência de consumo e preferência- ordenação das três formulações. A escala hedônica utilizada para

os testes afetivos foi a de 9 pontos que contêm os termos definidos situados entre "gostei extremamente" e "desgostei extremamente" em ficha adaptada de DUTCOSKY (2013).

Índice de Aceitabilidade

O índice de aceitabilidade (IA) do nuggets, foi calculado pela média das notas atribuídas pelos provadores para cada parâmetro da escala hedônica, de acordo com DUTCOSKY(2013), calculados a partir da seguinte fórmula:

$$IA (\%) = A/B \times 100$$

Em que: "A" é a nota média obtida para o produto e "B" é a nota máxima na escala hedônica utilizada para avaliar os atributos do produto (aroma, cor, textura, sabor e aceitação global).

Intenção de Compra

A avaliação da intenção de compra foi realizada, utilizando-se uma escala estruturada, de 5 pontos, onde 1 corresponde a "certamente não compraria", 2 a "possivelmente não compraria", 3 a "talvez comprasse/talvez não comprasse", 4 a "possivelmente compraria" e 5 a "certamente compraria" (REIS; MINIM, 2006).

Análise Estatística

Os dados obtidos foram tabulados em planilhas pelo programa Excel, logo após foram efetuadas análises estatísticas de variância (ANOVA) - *one way* no programa (STATISTIC 7.0) para verificação de possíveis diferenças significativas nos atributos que foram avaliados pelos consumidores. Foram efetuadas médias e desvio padrão dos valores obtidos em cada atributo sensorial, além da frequência de consumo e venda e o índice de aceitação global.

Análise Econômica

A análise econômica foi realizada considerando a produção de 46 unidades de nuggets de camarão com diferentes porcentagens de tubérculos (45 g) em cada tratamento, sendo cada unidade comercializada ao preço de R\$ 1,50.

O custo operacional efetivo (COE) foi obtido pela soma de todos os gastos diretos relacionados ao processo produtivo, de acordo com a equação:

$$COE = \sum (custos\ diretos)$$

A receita bruta (RB) foi calculada multiplicando-se a quantidade produzida (Q) pelo preço unitário de venda (PU):

$$RB = Q \times PU$$

A receita líquida (RL) foi determinada pela diferença entre a receita bruta e o custo operacional efetivo:

$$RL = RB - COE$$

O ponto de equilíbrio (PE) foi definido como o número mínimo de unidades necessárias para comercialização sem ocorrência de prejuízos econômicos. A margem de lucro (ML) foi expressa como a porcentagem da receita bruta convertida em lucro, calculada pela seguinte equação:

$$ML(\%) = \frac{L}{RB} \times 100$$

em que L corresponde ao lucro obtido.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise sensorial dos nuggets a base de camarão tigre com diferentes tipos de tubérculos são apresentados na tabela 2 e expressam as notas dadas pelos provadores e seu índice de aceitação. Esses resultados

ajudam a indicar as preferências sensoriais e manifestar o potencial de aceitação no mercado.

Tabela 2 - Medidas dos resultados da análise sensorial dos nuggets.

Atributos	Tipo		
	P1	P2	P3
Aparência	8,24±0,86 a	8,00±1,02 a	7,29±1,41 b
Aroma	8,27±0,91 a	8,00±1,04a,b	7,58±1,41 b
Cor	8,27±0,96 a	8,13±0,99a,b	7,67±1,46 b
Sabor	8,36±0,80 a	7,87±1,78 a	6,73±2,25 b
Textura	8,09±1,04 a	7,56±1,63a,b	6,98±1,80 b
Aceitação global	8,36±0,80 a	7,98±1,14 a	7,02±1,97 b
Índice aceitação	92,84%	88,64%	78,02%
Frequência de consumo.	7,69±1,64 a	7,29±1,53 a	5,64±1,85 b
Intenção de compra	4,47±0,66 a	4,07±1,07 a	3,22±1,15 b
Preferência-ordenação	68 a	82 a	120 b

* As médias seguidas da mesma letra, não diferem entre si, a nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Na avaliação de aparência, P1 apresentou a melhor aceitação, com uma média de $8,24 \pm 0,86$, superando a formulação P2 com a média de $(8,00 \pm 1,02)$ e P3 com a média de $(7,29 \pm 1,41)$. O menor desvio padrão da massa de P3 aponta que a percepção de uma aparência atrativa foi consistente entre os provadores. Esse resultado pode estar relacionado à textura visual da superfície frita, que proporcionou uma corânica mais homogênea. Estudos prévios mostram que a aparência visual desempenha um papel importante na aceitação de alimentos fritos, o que reforça a relevância desse achado (BORDIGNON *et al.*, 2010).

Com relação ao aroma, P1 e P2 alcançaram as melhores notas, sugerindo que o aroma neutro dessas formulações foi mais válido. Já P3, com uma média de $7,58 \pm 1,41$, teve um desempenho menor, o seu desvio padrão indica que houve maior dispersão de opiniões entre os provadores.

Referente a cor, nuggets com a massa P1 ganham destaque mais uma vez, com uma média maior de $8,27 \pm 0,96$, em seguida vem os nuggets com a massa de P2 com a média $8,13 \pm 0,99$ e por fim os nuggets de massa P3 com a média $7,67 \pm 1,46$ que obteve a menor média.

A menor variação observada na massa P1 insinua que a cor dourada e uniforme após o processo de fritura foi extensamente validada. Já as massas P2 e P3, que mostraram maior variabilidade de cor, podem não ter sido tão visualmente atrativas. Isso indica que a uniformidade de cor é um fator-chave para a atração visual, o que é confirmado por estudos anteriores (RICHARDI, 2021).

Na questão do sabor, a massa P1 $8,36 \pm 0,80$ alcançou uma melhor vantagem sobre a massa P2 $7,87 \pm 1,78$, em contrapartida a massa P3 indicou a menor aceitação $6,73 \pm 2,25$. O desvio padrão elevado reflete maior variabilidade nas opiniões, indicando que o sabor foi um atributo com grande diversidade de percepções entre os provadores. O sabor da massa P3 por ter maior concentração de batata pode ter contribuído para sua menor aceitação em comparação às massas P2 e P1 que possuem igual e superior concentração de macaxeira. Isso está de acordo com estudos que destacam a influência do sabor culturalmente aceito sobre a aceitabilidade de produtos (CALDAS; SANTOS; ATAYDE, 2018).

Na avaliação da textura mostrou que os nuggets da massa P1 conquistaram a maior pontuação $8,09 \pm 1,04$, dando sequência pela massa P2 $7,56 \pm 1,63$, enquanto a massa P3 ficou em último lugar $6,98 \pm 1,80$. A firmeza e a corânica proporcionada pela massa P1 parecem ter sido mais aprovadas, enquanto a textura mais macia e lisa da massa P3 foi menos aceita para os provadores. Esses dados reforçam a importância da textura crocante em produtos empanados, como nuggets, sendo um fator decisivo para a aceitação (ROGÉRIO; LEONEL; OLIBERA, 2005).

Na aceitação global, os nuggets da massa P1 apontaram a melhor média de $8,36 \pm 0,80$, dando continuidade pela massa P2 $7,98 \pm 1,14$. A massa P3 obteve a menor colocação na aceitação global $7,02 \pm 1,97$, com uma maior variabilidade nas respostas dos provadores, indicando que essa formulação foi mais conflitante. Produtos com índices de aceitabilidade superiores a 70% tem grande probabilidade de serem bem mais recebidos no mercado (OLIVERIRA *et al.*, [s.d.]), e nesse caso, todas as massas atendem a esse critério.

O índice de aceitabilidade, calculado com base nas notas de aceitação global, expõe que os nuggets de massa P1 ganharam a melhor porcentagem com 92,84%, seguidos pela massa P2 com 88,64% e pela massa P3 com 78,02%. Mesmo que todas as formulações tenham sido consideradas aceitáveis, a

massa P1 se sobressaiu como a mais optada pelos os provadores. Isso aponta que formulações com maior concentração de macaxeira tem maior potencial de aceitação no mercado.

Com relação a frequência de consumo, os nuggets da formulação P1 e a formulação P2 tiveram os melhores resultados em comparação a formulação P3 $5,64 \pm 1,85$. A maior variação nas respostas para a massa (P3) sugere que, enquanto alguns provadores estavam dispostos a consumir o produto regularmente, outros demonstraram menor interesse. Esses dados apontam que a massa com menor concentração de macaxeira não atinge o apelo sensorial necessário para garantir um consumo frequente.

Relacionando a intenção de compra surgiu uma pequena diferença, com as formulações de massa (P1) $4,47 \pm 0,66$ e massa (P2) $4,07 \pm 1,07$ recebendo as melhores notas, enquanto a massa (P3) atingiu uma média mais baixa $3,22 \pm 1,15$. Com esse resultado reforça a disposição de aceitação observada nos outros atributos, com provadores demonstrando maior disposição para adquirir as formulações com maior concentração de macaxeira. Isso reflete um comportamento de compra esperado quando a aceitação sensorial é alta (NUNES *et al.*, 2006)

Por fim, na ordem de preferência, os nuggets de massa (P3) foram os menos apreciados, com 120b dos provadores os classificando em último lugar. Já as formulações de massa (P2) 82a e massa (P1) 68a foram as mais bem avaliadas confirmando sua preferência por massa com maior concentração de macaxeira. Esses resultados apontam que as formulações de massas com maior concentração de macaxeira tiveram maior aceitação sensorial, especialmente nos atributos de aparência, textura e aceitação global.

A análise sensorial aponta que as formulações (P1) e (P2) possui maior apelo sensorial, com maior aceitação em atributos essenciais como aparência, textura e aceitação global. A massa (P3), embora seja uma opção menos calórica, apresentou menor aceitação, provavelmente devido a sua textura mais macia e lisa. Isso indica que, para o desenvolvimento de produtos com maior apelo sensorial, as formulações de massa (P1) e (P2) são mais promissoras. Futuros estudos poderiam explorar melhorias nas formulações de massa (P3) para aumentar sua aceitação sem comprometer suas qualidades nutricionais e menos calóricas.

Quanto à análise econômica, temos que o ponto de equilíbrio foi de aproximadamente 28 unidades em todas as formulações (Tabela 1), refletindo a relação direta com o custo operacional efetivo (COE), que se manteve constante entre os tratamentos. Da mesma forma, a receita bruta não apresentou variação significativa entre as formulações, resultando em receitas líquidas também semelhantes. A margem de lucro, que expressa a conversão da receita bruta em retorno líquido, igualmente não apresentou diferenças entre os tratamentos.

Tabela 3 - Análise econômica das formulações de nuggets de camarão com diferentes porcentagens de tubérculos.

Formulação	PE (Unid.)	COE (R\$)	RB (R\$)	RL (R\$)	ML (%)
P1	28,56	42,84	68,33	25,49	37,31
P2	28,56	42,84	68,33	25,50	37,31
P3	28,53	42,79	68,33	25,54	37,37

* PE: Ponto de equilíbrio; COE: Custo operacional efetivo; RB: Receita bruta; RL: Receita líquida; ML: Margem de lucro (%).

De modo geral, os resultados indicam que as três formulações apresentaram desempenho econômico bastante semelhante, com variações mínimas nos indicadores de receita e lucratividade. Essa uniformidade sugere que todas as formulações apresentam viabilidade econômica equivalente.

CONCLUSÃO

Os nuggets de camarão *Penaeus monodon* (camarão tigre) foram combinados com diferentes porcentagens de tubérculos, especialmente as porcentagens P1 e P2, mostraram grande potencial de aceitação sensorial e viabilidade econômica. A porcentagem P1 apresentou o melhor desempenho em atributos sensoriais como aparência e textura, sendo a mais apreciada entre os provadores. Em termos de saúde, a alternativa à base de pescado é uma opção nutritiva, rica em proteínas e ácidos graxos essenciais, representando uma escolha mais saudável e nutritiva em comparação com os nuggets de frango tradicionais. Esses resultados sugerem que a introdução de nuggets à base de camarão tigre, em especial com o uso de porcentagem P1 e P2, pode ser uma

estratégia promissora para a diversificação de produtos no setor alimentício, além de incentivar o consumo desse crustáceo.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, T. T. O.; MIRANDA, L. C. G.; SALIM, J.; TELES, F. F.; QUIRINO, J. G.** Composição centesimal da raiz de 10 variedades da mandioca (*Manihot esculanta* Crantz) cultivadas em Minas Gerais. *Revista Brasileira da Mandioca*, v. 12, n. 1, p. 7-12, 1993.
- ÁLVARES, V. S.; MIQUELONI, D. P.; NEGREIROS, J. R. S.** Variabilidade físico-química da farinha de mandioca do Território da Cidadania do Vale do Juruá, Acre. *Revista Ceres*, v. 63, n. 2, p. 113-121, 2016.
- ALHASSAN, A. et al.** Consumption of fish and vascular risk factors: A systematic review and meta-analysis of intervention studies. *Atherosclerosis*, v. 266, p. 87-94, 1 nov. 2017.
- AZAM, Khairul; ALAM, S. M. Nazmul; NAHER, Sham Sun.** Quality assessment of farmed black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) in supply chain: organoleptic evaluation. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 34, Issue s1, p. 164-175, 2010.
- BARBIERI, J. C.; ÁLVARES, A. C. T.; MACHLINE, C.** Taxa Interna de Retorno: controvérsias e interpretações. *Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas*, n. 4, p. 131-131, 1 dez. 2007.
- BARBUT, S.** Convenience breaded poultry meat products – New developments. *Trends in Food Science & Technology*, v. 26, n. 1, p. 14-20, 1 jul. 2012.
- BATISTELA, G. C.; PINTO, C. L.; SIMÕES, D.** Valor Presente Líquido Fuzzy aplicado a um projeto de investimento industrial. [S.l.: s.n.], [s.d.].
- BENZEI, J. A. H.** Population genetic structure in penaeid prawns. *Aquaculture Research*, v. 31, n. 1, p. 95-119, 2000.
- BORDIGNON, A. C. et al.** Elaboração de croquete de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) a partir de CMS e aparas do corte em 'V' do filé e sua avaliação físico-química, microbiológica e sensorial. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 32, n. 1, p. 101-108, 31 mar. 2010.
- CALDAS, K. D. P. P.; SANTOS, P. R. B.; ATAYDE, H. M.** Patê de peixe usando resíduos da indústria pesqueira amazônica: produção e aceitação. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 9, n. 6, p. 188-198, 3 jul. 2018.
- CARVALHO, R.; LEMOS, D.** Aquicultura e consumo de carnes no Brasil e no Mundo. *Revista Panorama da Aquicultura*, Rio de Janeiro, v. 19, n. 112, mar./abr. 2009.
- CARVALHO, T. M. et al.** Ocorrência de *Penaeus monodon* no litoral amazônico: implicações ecológicas e comerciais. *Revista Brasileira de Aquicultura e Pesca*, v. 17, n. 1, p. 55-65, 2023.
- CINTRA, I. H. A.; PAIVA, K. S.; BOTELHO, M. N.; SILVA, K. C. A.** Presence of *Penaeus monodon* in the continental shelf of the state of Pará, northern Brazil (Crustacea, Decapoda, Penaeidae). *Revista de Ciências Agrárias*, v. 54, n. 3, p. 314-317, 2011.

CINTRA, I. H. A. et al. Novos registros de camarão-tigre-gigante *Penaeus monodon* Fabricius, 1798, na Plataforma Continental Amazônica (Crustacea, Decapoda, Penaeidae). *Biota Amazônia*, v. 4, n. 2, p. 172-175, 2014.

COELHO, P. A.; SANTOS, M. D. C. F.; RAMOS-PORTO, M. Ocorrência de *Penaeus monodon* Fabricius, 1798 no litoral dos estados de Pernambuco e Alagoas (Crustacea, Decapoda, Penaeidae). *Boletim Técnico Científico CEPENE*, v. 9, n. 1, p. 149-153, 2001.

DERIS, Z. M. et al. Immune and bacterial toxin genes expression in different giant tiger prawn, *Penaeus monodon* post-larvae stages following AHPND-causing strain of *Vibrio parahaemolyticus* challenge. *Aquaculture Reports*, v. 16, p. 100248, 2020.

ENES, C. C.; SLATER, B. Obesidade na adolescência e seus principais fatores determinantes. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 13, n. 1, p. 163-171, mar. 2010.

FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Roma, 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/3/ca9229en/ca9229en.pdf>. Acesso em: 16 set. 2025

FAUSTO FILHO, J. Registro da captura de *Penaeus monodon* Fabricius no litoral do estado do Maranhão, Brasil (Crustacea: Penaeidae). *Arquivos Ciências do Mar*, v. 26, n. 1, p. 81-82, 1987.

FARIA, R. M. Análise de preço da pescada-gó *Macrodon ancylodon* (Bloch; Schneider, 1801) no Estado do Pará no período de 2010 a 2018. [S.l.: s.n.], 25 fev. 2019.

FERREIRA, J. R.; COSTA, D. L. Primeiros registros de *Penaeus monodon* no estado do Maranhão. *Boletim de Laboratório de Hidrobiologia*, São Luís, v. 25, n. 2, p. 34-40, 2021.

FONSECA, F. A. L. da; CASTRO, A. C. L. de. Dinâmica da nutrição da pescada-gó *Macrodon ancylodon* (Bloch & Schneider, 1801) (Teleostei: Sciaenidae), na costa do Estado do Maranhão. *Boletim do Laboratório de Hidrobiologia*, v. 13, n. 1, 4 fev. 2014.

FREIRE, J. L.; SILVA, B. B.; SOUZA, A. S. Aspectos econômicos e higiênico-sanitários da comercialização do pescado no município de Bragança (PA). *Biota Amazônia*, v. 1, n. 2, p. 17-28, 30 dez. 2011.

FULLER, P. L. et al. Invasion of Asian tiger shrimp, *Penaeus monodon* Fabricius, 1798, in the western north Atlantic and Gulf of Mexico. *Aquatic Invasions*, v. 9, n. 1, p. 59-70, 2014.

GONÇALVES, J. S. Riscos associados ao consumo de alimentos ultraprocessados, largamente consumidos pelo público infantil. [S.l.: s.n.], 12 dez. 2023.

GÓMEZ LEMOS, L. A. [Dados incompletos para referência].

HAJEB, P.; JINAP, S. A review on the nutritional composition and safety of shrimp. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, Malden, v. 11, n. 3, p. 302-311, 2012.

ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Registros da espécie *Penaeus monodon* na plataforma continental do Amapá. *Boletim Técnico-Científico do CEPNOR*, v. 2, n. 3, p. 21-30, 2010.

ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Distribuição de *Penaeus monodon* no litoral de Pernambuco e Alagoas. *Boletim Técnico-Científico do CEPENE*, v. 9, p. 67-75, 2017.

LEÃO, T. C. C. et al. Espécies exóticas invasoras no nordeste do Brasil: contextualização, manejo e políticas públicas. Recife: Centro de Pesquisas Ambientais do Nordeste e Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental, 2011. 99 p.

LIMA, A.; FERREIRA, M.; SÁNCHEZ, C. Batata-doce. *Revista de Ciência Elementar*, v. 11, p. 1–5, 11 ago. 2023.

LIMA, C. L. S. de et al. Avaliação da qualidade de filés de pescada-gó. *Blucher Food Science Proceedings. Anais... Em: XII CONGRESSO LATINO AMERICANO DE MICROBIOLOGIA E HIGIENE DE ALIMENTOS*. São Paulo: Blucher, 1 dez. 2014. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/avaliacao-da-qualidade-de-fils-de-pescada-g-11667>. Acesso em: 31 out. 2024.

LIU, Z. et al. Comparison of the proximate composition and nutritional profile of byproducts and edible parts of five species of shrimp. *Foods*, Basel, v. 10, n. 11, p. 2603, 27 out. 2021.

LOPES, R. M. Informe sobre as espécies exóticas invasoras marinhas no Brasil. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 2009. 440 p. (Série Biodiversidade, 33).

MARÇAL, C. C. L.; ROCHA, G. de M. A importância do recurso pescada-gó *Macrodon ancylodon* (Block & Schneider, 1801) para o desenvolvimento das Reservas Extrativistas na Zona Costeira Amazônica. *Colóquio Organizações, Desenvolvimento e Sustentabilidade*, v. 13, 2022.

MARTINS, J. D. D.; RIBEIRO, M. de F. Sustentabilidade empresarial sob a ótica da metodologia da análise econômica do direito: ineficácia protetiva da análise jurídica tradicional. *Scientia Iuris*, v. 26, n. 1, p. 126–150, 31 mar. 2022.

MATSUURA, Y. Análise econômica da produção da sardinha na região sudeste do Brasil. *Boletim do Instituto Oceanográfico*, v. 30, p. 57–64, 1981.

MORAIS, J. P. S.; CLAUDINO, R. L. Balanço de massa na obtenção de carne mecanicamente separada (CMS) de tilápia. [S.l.: s.n.], [s.d.].

MOREIRA, A. F. A carcinicultura e seus desafios para a sustentabilidade em áreas estuarinas no Nordeste brasileiro. *Consultor Jurídico*, São Paulo, 3 maio 2025. Disponível em: <https://www.conjur.com.br/2025-mai-03/a-carcinicultura-e-seus-desafios-para-a-sustentabilidade-em-areas-estuarinas-no-nordeste-brasileiro/>. Acesso em: 6 ago. 2025.

MOTA, D. R.; MOURA, R. L.; SILVA, G. R. Sustentabilidade e aproveitamento de espécies exóticas: uma abordagem sobre o uso do camarão-tigre na alimentação local. *Revista Extensão e Sociedade*, Natal, v. 12, n. 1, p. 35–48, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/29485>. Acesso em: 6 ago. 2025.

NASCIMENTO, C. et al. Utilização de farinha de resíduo do camarão (*Penaeus schmitti*) no desenvolvimento de um novo produto. [S.l.: s.n.], p. 81–91.

NEIVA, C. R. P. Aplicação da tecnologia de carne mecanicamente separada (CMS) na indústria de pescado. [S.l.: s.n.], [s.d.].

NUNES, T. P. et al. Aceitação sensorial de reestruturados empanados elaborados com filé de peito de galinhas matrizes de corte e poedeiras comerciais. *Food Science and Technology*, v. 26, p. 841–846, dez. 2006.

OLIVEIRA, V. S. D. et al. Análise sensorial de nuggets de aparas de pescados. [S.l.: s.n.], [s.d.].

PINTO, A. Relatório de estágio apresentado ao Curso de Engenharia de Pesca da Universidade Estadual do Maranhão, 2014.

- RAMALHO, L. A.; CAVALCANTI, F. S.; FERREIRA, J. C.** Impactos ambientais da carcinicultura: uma análise dos desafios sustentáveis. *Impostos Agrícolas*, Salvador, 2020. Disponível em: <https://www.impostosagricolas.com.br/carcinicultura-e-seus-desafios-para-sustentabilidade-em-areas-estuarinas-no-nordeste/>. Acesso em: 6 ago. 2025.
- ROGÉRIO, W. F.; LEONEL, M.; OLIVEIRA, M. A. de.** Produção e caracterização de salgadinhos fritos de tuberosas tropicais. *Revista Raízes e Amidos Tropicais*, v. 1, p. 76–85, 22 nov. 2005.
- SANTOS, L. V. et al.** Introdução do camarão-tigre no litoral cearense: análise de impactos e riscos. *Arquivos de Ciências do Mar*, Fortaleza, v. 55, n. 3, p. 98–107, 2022.
- SANTOS, S.; SCHNEIDER, H.; SAMPAIO, I.** Genetic differentiation of *Macrodon ancylodon* (Sciaenidae, Perciformes) populations in Atlantic coastal waters of South America as revealed by mtDNA analysis. *Genetics and Molecular Biology*, v. 26, p. 151–161, 2003.
- SILVA, E. S. C.; SALES, A. D.** Cadeia de comercialização do pescado desembarcado no posto fiscal de Bragança, Estado do Pará. [S.l.: s.n.], [s.d.].
- SILVA, F. de A. S. e; DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M.** Nova metodologia para interpretação de dados de análise sensorial de alimentos. *Engenharia Agrícola*, v. 30, p. 967–973, out. 2010.
- SILVA, K. C. A.; PORTO, M. R.; CINTRA, I. H. A.** Registro de *Penaeus monodon* Fabricius, 1798, na plataforma continental do Estado do Amapá (Crustacea, Decapoda, Penaeidae). *Boletim Técnico Científico CEPNOR*, v. 2, n. 1, p. 75–80, 2002.
- SILVA, M. C. et al.** Potencial do camarão-tigre na aquicultura brasileira: desafios e perspectivas. *Revista Brasileira de Engenharia de Pesca*, v. 14, n. 2, p. 144–157, 2021.
- SILVA, S. R.; PINTO, E. G.; SOARES, D.** Biscoito tipo cookie de farinha de amêndoa de pequi: avaliação física e química. *Revista Enciclopédia Biosfera*, v. 1, n. 15, p. 1401, 2018.
- THE FISH SITE.** O *Penaeus monodon* pode ganhar terreno contra a monocultura do camarão vannamei? 2022. Disponível em: <https://br.thefishsite.com/artigos/o-monodon-pode-ganhar-terreno-contra-a-monocultura-do-camar%C3%A3o-vannamei>.
- WITTENBERG, R.; COCK, M. J. W. (Ed.).** Invasive alien species: a toolkit of best prevention and management practices. Wallingford: CABI Publishing, 2001.
- XIE, B. et al.** Cloning, characterization, and expression of the macrophage migration inhibitory factor gene from the black tiger shrimp (*Penaeus monodon*). *Fish & Shellfish Immunology*, v. 56, p. 489–495, 2016.
- TIDWELL, J. H.; ALLAN, G. L.** Immature *Penaeus monodon* production in ponds with different stocking densities. *Aquaculture*, Amsterdam, v. 194, n. 1–2, p. 163–176, 2001.

APROVEITAMENTO TECNOLÓGICO DE SUBPRODUTOS DE FRUTOS DE PALMEIRAS PARA A OBTENÇÃO DE INGREDIENTES E PRODUTOS PANIFICADOS

Jucianne Martins Lobato

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Thayza Christina Montenegro Stamford

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Tânia Lúcia Montenegro Stamford

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

RESUMO

A utilização de subprodutos da agroindústria para o desenvolvimento de alimentos enriquecidos constitui uma abordagem promissora, uma vez que cascas, sementes e polpa desengordurada de frutos de palmeiras apresentam quantidades significativas de compostos bioativos. Nesse contexto, este trabalho aborda o aproveitamento dos resíduos resultantes do processamento de frutos de palmeiras no enriquecimento de produtos panificados. A incorporação de farinhas obtidas de subprodutos de frutos como açaí, babaçu, buriti, jerivá, licuri, macaúba, palmeira-real, pupunha, tâmara e tucumã em produtos como pães, biscoitos e bolos tem contribuído para o aumento da composição proteica. Além disso, essas farinhas apresentam elevados teores de cálcio, magnésio, ferro e potássio, podendo auxiliar na prevenção de osteoporose, síndrome metabólica, anemia e hipertensão arterial. No que diz respeito à funcionalidade tecnológica dos panificados, a adição de farinhas alternativas tem promovido maior textura e intensidade de cor e melhor estabilidade durante o armazenamento, evidenciando seu potencial como estratégia para aprimorar as características nutricionais e sensoriais desses alimentos.

Palavras-chave: Alimentos funcionais; subprodutos; panificação; sustentabilidade; processamento de alimentos.

INTRODUÇÃO

A perda e o desperdício de alimentos são atualmente os principais problemas enfrentados pela cadeia de abastecimento em nível mundial (Mateus *et al.*, 2023). Estima-se que o volume global de desperdício de alimentos seja de 1,6 bilhões de toneladas com consequências econômicas diretas em torno de US\$ 750 bilhões (FAO, 2023). Em particular, o aumento da produção de óleos vegetais resultou no aumento concomitante da quantidade de resíduos sólidos gerados pela indústria (Otero *et al.*, 2021).

Dentre as matérias-primas comumente utilizadas para a produção de óleos vegetais, destacam-se os frutos de palmeiras. Os frutos das palmeiras são considerados não tradicionais e/ou exóticos, porém muitos ainda são desconhecidos ou subutilizados. Os frutos da família Arecaceae que possuem potencial tecnológico promissor incluem inajá (*Maximiliana maripa*), pupunha (*Bactris gasipaes*), buriti (*Mauritia flexuosa*), bacaba (*Oenocarpus bacaba*) e tucumã (*Astrocaryum vulgare*) (Barbi *et al.*, 2019). Os frutos são utilizados na indústria de alimentos devido à presença de amido, proteínas, fibras, vitaminas, carotenoides e compostos fenólicos (Santos *et al.*, 2015).

O aproveitamento dos subprodutos da extração de óleos vegetais contribui para a expansão de novos produtos alimentícios funcionais. Porém, existem estudos limitados sobre a incorporação em produtos panificados, apesar de melhorar o perfil nutricional e manutenção das propriedades sensoriais (Goksen *et al.*, 2021). Vale salientar que com a crescente demanda dos consumidores por alimentos saudáveis, a indústria de panificação vem buscando por ingredientes funcionais inovadores para acompanhar as tendências atuais do mercado e exigências dos consumidores (Puric *et al.*, 2020).

A fabricação de produtos panificados enriquecidos com subprodutos do processamento de óleos vegetais representa uma estratégia inovadora sustentável e de baixo custo para ofertar alimentos saudáveis e com valor agregado, pois são consumidos em todo o mundo e com uma grande variedade de produtos, como pães, biscoitos, bolos, pizzas, pastéis, torradas e outros que são encontrados nas prateleiras dos supermercados (Nunzio *et al.*, 2020). O emprego de subprodutos em panificados proporciona melhoria da qualidade nutricional, capacidade antioxidante e reológica (Gaglio *et al.*, 2023).

Portanto, embora o processamento de óleos vegetais seja uma técnica útil que maximiza o uso de matérias-primas, é também um dos principais responsáveis pela geração de subprodutos agroindustriais (Mirpoor *et al.*, 2021). A maioria desses subprodutos ainda são tratados como resíduos, cuja disposição incorreta e má gestão originam problemas ambientais, sociais e econômicos (Permal *et al.*, 2019). A produção de novos ingredientes funcionais para panificados a partir de recursos alternativos podem ser úteis para alcançar um produto final funcional, palatável e que também satisfaça as necessidades e expectativas dos consumidores (Durán-Aranguren *et al.*, 2023). Desta forma, o presente texto visa abordar sobre o aproveitamento de resíduos do processamento de frutos de palmeiras no enriquecimento de produtos panificados.

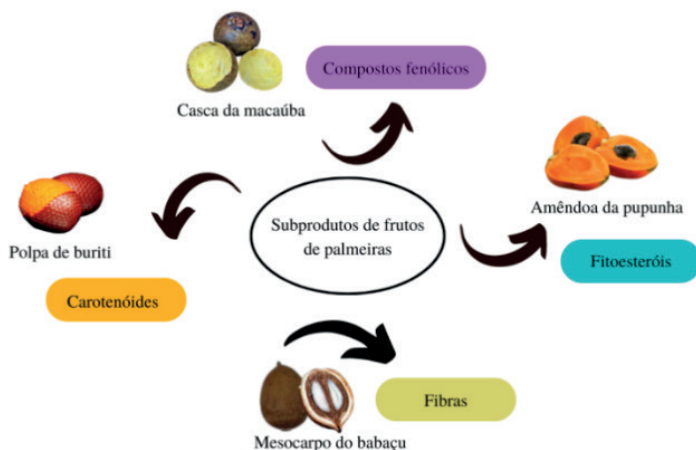
DESENVOLVIMENTO

Aproveitamento dos subprodutos de frutos de palmeiras

Os frutos de palmeiras são utilizados para a extração de óleos pelos setores alimentício, cosmético e farmacêutico, devido ao alto teor de lipídios. Entretanto, ocorre geração de subprodutos derivados da extração como casca, polpa, semente e torta que ainda são subutilizados pela população, apesar de ser uma fonte de alimento exótico com elevado valor nutricional, representam resíduos sólidos descartados no lixo (Jaramillo-Vivanco *et al.*, 2022).

O emprego de subprodutos de frutos de palmeiras como ingredientes e alimentos funcionais sustentáveis podem contribuir para a diminuição da geração de resíduos sólidos como também o desperdício, promovendo renda e segurança alimentar, pois é um produto com alto valor agregado (Pathania *et al.*, 2022) e possuem compostos antioxidantes que auxiliam na promoção da saúde conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Subprodutos de frutos de palmeiras fontes de compostos bioativos.



Fonte: Singh *et al.*, (2015); Zanatta *et al.*, (2015); Cavalcante-Neto *et al.*, (2016); Abreu-Naranjo *et al.*, (2020) adaptado.

As cascas são fontes de compostos fenólicos, porém em outros frutos como tucumã e pupunha apresentam concentração elevada de carotenóides, sendo o β -caroteno majoritário com 7,8 e 7,3 mg/100 g, indicando serem ricas em pró-vitamina A. Podem ser utilizadas na extração de bioativos pelo setor alimentício, cosmético e farmacêutico para a obtenção de corantes e/ou ingredientes bioativos, cremes e produtos de beleza e antioxidante natural (Matos *et al.*, 2019; Tiwari *et al.*, 2022).

As bioatividades das cascas se referem à propriedade antioxidante, quimiopreventiva e à capacidade de inibição de enzimas ligadas a doenças neurodegenerativas: acetilcolinesterase, butirilcolinesterase e tirosinase. As aplicações das cascas são direcionadas na produção de medicamentos, nutracêuticos e carboximetilcelulose na elaboração de embalagens de alimentos (Gonçalves *et al.*, 2018; Pereira-Freire *et al.*, 2018; Kaewprachu *et al.*, 2022).

Os compostos bioativos da polpa variam conforme a espécie de palmeira, enquanto a polpa do açaí é rica em antocianinas com 181,25 mg/100g e o jerivá em fenólicos totais de 850.62 mg GAE 100 g⁻¹, o buriti e tucumã são considerados fontes de carotenóides e quercetina com 52.86 mg 100 g⁻¹ e 26.06 mg/100g (Cândido *et al.*, 2015; Sagrillo *et al.*, 2015; Mazuco *et al.*, 2018; Andrade *et al.*, 2020).

Quanto ao teor de nutrientes, a polpa exibe alto conteúdo de carboidratos, podendo apresentar o mesmo conteúdo lipídico da torta residual da extração de óleos das amêndoas (Andrade *et al.*, 2020). O consumo de subprodutos de frutos de palmeiras fornece uma quantidade significativa dos nutrientes essenciais para a dieta humana, além de um elevado teor de fibras totais e valor calórico (VCT) (Tabela 1).

Tabela 1 - Composição centesimal de subprodutos de alguns frutos de palmeiras.

Composição centesimal (g/100 g)						
Palmeira	Subproduto	Carboidratos	Proteínas	Lipídios	Fibra	VCT
Buriti	Casca	84.8±1.33	2.16±0.15	3.33±0.50	71.80±2.01	377.81
Jerivá	Polpa	29.45±0.33	2.97±0.06	0.45±0.08	20.45±0.00	133.77
Guariroba	Semente	20,60±0,23	15,46 ±0,30	45,17 ±0,49	12,46±0,28	550.00
Babaçu	Amêndoa	27,58±0,3	12,23±0,38	50,10±0,15	51,53±2,61	610,14
Macaúba	Torta	1.02±0.31	27.83±0.02	28.31±0.32	35.81±0.00	369.57

*VCT: Valor Calórico Total.

Fonte: Coimbra *et al.*, (2011); Oliveira *et al.*, (2019); Andrade *et al.*, (2020); Cardoso *et al.*, (2020).

A utilização da polpa de frutas abrange a extração de compostos antioxidantes para aplicações em nutracêuticos, adição ou formulação de alimentos funcionais (Salazar-Lopez *et al.*, 2020). A partir da polpa, podem ser elaborados ingredientes como a farinha, espessantes, gelificantes, agentes retentores de água, nanopartículas e revestimentos comestíveis, bem como na produção de alimentos, por exemplo, suco, iogurte, queijo, biscoito, pão, bolo, pizza, hambúrguer, mingau e produtos extrusados (Foste *et al.*, 2020; Ribeiro *et al.*, 2021; Santos *et al.*, 2022).

Os maiores teores de fenólicos e taninos condensados são encontrados nas sementes no qual Gonçalves *et al.*, (2018) avaliaram que o extrato das sementes do palmito-anão apresentou 1564,88 µmol GAE g⁻¹ e 170,00 µmol E g⁻¹ para fenólicos e taninos. As sementes são subprodutos com potencialidades para serem explorados na fabricação de chás, carvão ativado e biocombustíveis como o etanol e o biodiesel (Alazmi *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2022; Mohan *et al.*, 2022). O endocarpo, material lenhoso rico em celulose, hemicelulose e lignina que cobre e protege a amêndoa, podendo ser usado como fonte para geração

de biomassa, biocombustível e biocarvão para redução de emissões de CO₂ (Monteiro *et al.*, 2022).

As amêndoas possuem um alto conteúdo de lipídios no qual verificaram em uma pesquisa que a macaúba contém 46,06%. Contudo foram encontrados altos valores para a torta residual (28,31%), subproduto da extração do óleo, como também, apresentou teor de proteínas superior (27,83%) ao das polpas (2,87%) (Andrade *et al.*, 2020). A aplicabilidade inovadora das amêndoas consiste no desenvolvimento de bebidas hidrossolúveis, formulações substitutas de outros óleos vegetais e sobremesas (Monteiro *et al.*, 2022).

A torta residual da extração de óleo por prensagem a frio representa uma fonte concentrada de proteínas que podem ser exploradas industrialmente na produção e utilização de peptídeos bioativos e suplementos para melhoria da qualidade nutricional de variadas formulações alimentícias (Goksu *et al.*, 2022). O elevado teor de fenólicos totais demonstra um co-produto com aplicações para a estabilização de alimentos (Tsouko *et al.*, 2019).

Segundo a Organização Mundial da Saúde, é recomendado consumo de 25 g por dia de fibra alimentar (WHO, 2003). Porém, a maioria da população não consome a orientação preconizada (Mcgill *et al.*, 2015). A torta com baixo custo e alta disponibilidade pode ser considerada excelente fonte de fibra alimentar. As fibras são substratos com efeitos prebióticos, pois são resistentes a digestão e absorção do intestino delgado e pode atingir o cólon e ser fermentado por microrganismos benéficos (Duarte *et al.*, 2017).

Os óleos extraídos de frutos de palmeiras são amplamente utilizados no preparo de alimentos, especialmente o óleo de coco e palma por suas propriedades químicas, físicas, baixo custo e disponibilidade (Boateng *et al.*, 2016). São subprodutos ricos em ácidos graxos saturados e usados na forma de óleo para frituras, margarina, panificados e diferentes alimentos processados (Génova *et al.*, 2018).

O aproveitamento tecnológico e consumo regular de produtos alimentícios enriquecidos com subprodutos obtidos do processamento de óleos comestíveis de frutos de palmeiras podem beneficiar a saúde humana e serem uma nova alternativa para substituição de matérias-primas comumente utilizadas na elaboração e preparo de alimentos, proporcionando a valorização e agregação de valor aos produtos regionais (Onyeaka *et al.*, 2022).

Aproveitamento dos subprodutos de frutos de palmeiras para a obtenção de ingredientes e produtos panificados

Os produtos panificados são um importante grupo de alimentos derivados dos cereais, tratados termicamente (Tolve *et al.*, 2021). O principal ingrediente é a farinha de trigo que confere volume e estrutura aos produtos que incluem pães, biscoitos, bolos, pizzas e pastéis. São amplamente consumidos pela população, devido ao seu baixo preço, facilidade de acesso, características sensoriais e valor nutricional (Martins *et al.*, 2017).

Em geral, os ingredientes básicos dos produtos panificados são: farinha de trigo, água, fermento em pó, bicarbonato de sódio, ovos, leite, sal, gorduras, açúcar e em quantidades menores podem ser adicionados: emulsificantes e corantes (Ahuja *et al.*, 2022). A incorporação de novos ingredientes funcionais alternativos na elaboração de produtos panificados proporciona altos níveis de fortificação (Nartea *et al.*, 2023).

Existem diversos estudos em que farinhas de diferentes grupos de alimentos são utilizadas na substituição ou enriquecimento da farinha de trigo em pães, biscoitos, bolos e pizzas, como leguminosas (feijão fava, grão-de-bico e ervilha) (Krause *et al.*, 2022; Chockchaisawasdee *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2023), frutas (pêssego, banana e camu-camu) (Canalis *et al.*, 2020; Arise *et al.*, 2021; Chagas *et al.*, 2021), hortaliças (beterraba, abóbora e couve-flor) (Cui *et al.*, 2022; Melese *et al.*, 2022; Nartea *et al.*, 2023), algas marinhas (*Spirulina platensis*) (Montevecchi *et al.*, 2022) e resíduos agroindustriais (casca, bagaço e semente de abacaxi, uva e mamão) (Manisha *et al.*, 2022; Difonzo *et al.*, 2023; Lira *et al.*, 2023).

As diferentes partes de frutos de palmeiras podem ser utilizadas na elaboração de farinhas destinadas para a alimentação humana, como a farinha de babaçu, tâmara, pupunha, tucumã, jerivá, buriti e macaúba (Tabela 3), devido à alta composição proteica e por ser um recurso renovável e sustentável, sendo uma opção viável de matéria-prima para a substituição de ingredientes e/ou suplementos em diversos tipos de alimentos (Kari *et al.*, 2022).

Tabela 2 - Aproveitamento dos subprodutos de frutos de palmeiras em produtos panificados.

Palmeira	Subproduto	Alimento	Resultados	Autor/Ano
Açaí (<i>Euterpe oleracea</i>)	Polpa	Pão	Elevado teor de carboidratos, fibras insolúveis e umidade.	Nogueira (2021)
Babaçu (<i>Orbignya phalerata</i>)	Mesocarpo	Biscoito	Aumento da concentração de minerais (cálcio, ferro e potássio) e de fibra alimentar.	Camili <i>et al.</i> , (2019)
Buriti (<i>Mauritia flexuosa</i> L.)	Óleo	Biscoito	Alta concentração de vitamina A, carboidratos e redução de lipídios.	Aquino <i>et al.</i> , (2012)
Jerivá (<i>Syagrus romanzoffiana</i>)	Torta	Bolo	Elevado conteúdo de cinzas, fibras e lipídios e teor glicídico reduzido.	Garroni <i>et al.</i> , (2021)
Licuri (<i>Syagrus Coronata</i>)	Torta	Pão	Alto conteúdo de lipídios, minerais (sódio, ferro e potássio) e compostos fenólicos.	Barbosa (2019)
Macaúba (<i>Acrocomia aculeata</i>)	Polpa	Pão	Aumento do conteúdo de lipídios e proteínas e redução de carboidratos.	Oliveira (2015)
Palmeira-real (<i>Archontophoenix alexandrae</i>)	Bainhas foliares	Biscoito	Teor elevado de fibras, minerais (potássio, cálcio, magnésio e ferro).	Simas (2008)
Pupunha (<i>Bactris gasipaes</i>)	Casca e polpa	Biscoito	Alto teor de lipídios e carboidratos e elevado valor energético total.	Ribeiro <i>et al.</i> , (2021)
Tâmara (<i>Phoenix dactylifera</i>)	Semente	Muffins	Aumento da fibra dietética e teor de cinzas e melhoria da atividade antioxidante.	Ambigaipalan <i>et al.</i> , (2015)
Tucumã (<i>Astrocaryum vulgare</i>)	Torta	Biscoito	Teor elevado de minerais (cálcio e fósforo), fibras, carboidratos e lipídios.	Simões (2010)

A farinha de trigo, geralmente refinada, é composta majoritariamente por carboidratos (amido) e baixa quantidade de fibras alimentares, vitaminas e minerais com ingestão nutricional limitada, contribuindo para o aumento da glicemia (Della-Corte *et al.*, 2020). A adição de farinhas de subprodutos de frutos às formulações pode aumentar a qualidade nutricional e propriedades tecnológicas do produto final (Difonzo *et al.*, 2023).

O emprego dos subprodutos de frutas na produção de ingredientes secos – as farinhas consistem em uma estratégia barata e simples para aplicação industrial rentável (Santos *et al.*, 2022). Apresentam elevados valores de fibras e proteína e podem ser empregadas como aditivos naturais promissores (fonte de fibra alimentar ou emulsificante), podendo ser utilizados como espessantes,

geleificantes e na produção de películas comestíveis e produtos panificados (Martínez-Girón *et al.*, 2021).

Quanto ao aspecto de enriquecimento nutricional, as farinhas demonstraram serem fontes de minerais, principalmente, cálcio, magnésio, ferro e potássio, apesar de que a concentração de minerais nos alimentos depende do tipo de produto, cultivo e das condições em que os alimentos são produzidos e processados (Filho *et al.*, 2020). Os benefícios do cálcio, magnésio, ferro e potássio são prevenção de osteoporose (Bae *et al.*, 2022), síndrome metabólica (Huang *et al.*, 2022), anemia (Palika *et al.*, 2022) e hipertensão arterial (Dhoble *et al.*, 2022), respectivamente.

A funcionalidade tecnológica das farinhas dos subprodutos dos frutos de palmeira está relacionada ao aumento da textura, maior intensidade de cor (Resende *et al.*, 2019) ou estabilidade durante o prazo de validade no qual são associados a diferentes agentes moleculares presentes. As fibras dietéticas são consideradas a estrutura responsável pela textura (Santos *et al.*, 2022). Martínez-Girón *et al.*, (2021) observaram que a farinha produzida a partir da casca de pupunha demonstrou capacidade de retenção de água e óleo, atividade e estabilidade emulsificante.

Os biscoitos se referem a um grupo de produtos assados feitos de farinha de trigo com baixo teor de água final. São produzidos com farinha, açúcar, gordura, água e moldados em uma massa pequena, doce e crocante e valorizados pela textura, aparência, sabor, elevado valor nutricional, baixo custo, acessibilidade e com maior vida de prateleira. Em relação à massa de biscoito, usualmente é curta e pouco desenvolvida e carece de extensibilidade. Estes alimentos são servidos como guloseimas e/ou lanches (Xu *et al.*, 2020).

A incorporação de farinha do mesocarpo do babaçu em biscoitos influencia no atributo cor, pois com o tratamento térmico apresenta uma coloração mais escura e opaca, no qual está associada com o conteúdo de fibras, pois alimentos ricos em fibras possuem uma cor mais escura em relação à sua versão refinada (Camili *et al.*, 2019). Em um estudo realizado por Simas (2008), a adição da farinha de palmeira-real não afetou a consistência e elasticidade e obteve um aumento da firmeza dos biscoitos.

Já o sabor dos biscoitos varia conforme o subproduto utilizado, pois o emprego de 15% do óleo de buriti não afetou o sabor original das formulações,

considerando sem adição de essências (Aquino *et al.*, 2012). O óleo de frutos de palmeiras geralmente é utilizado como óleo de cozinha para a preparação de alimentos. Na sua forma refinada e desodorizada, é utilizado para grelhar e frituras (batata frita, inhame frito, carne e peixe, ovos), pois é estável e resistente à oxidação e altas temperaturas ($> 180^{\circ}\text{C}$). Também é encontrado como gordura em variados produtos do setor alimentício na forma de salgadinhos, leites infantis, maionese, chocolate, etc (Absalome *et al.*, 2020).

Os benefícios do enriquecimento de produtos panificados com óleos vegetais são: prolongamento da vida de prateleira de pães (Zhao *et al.*, 2022), melhoria da qualidade organoléptica (sensação na boca, sabor e aroma) e capacidade antioxidante de biscoitos (Srivastava *et al.*, 2021), propriedades de textura desejáveis, por exemplo, a viscoelasticidade da massa (Zhang *et al.*, 2022) e aumento do conteúdo de ácidos graxos insaturados (ácido linoleico) em bolos (Sowmya *et al.*, 2009).

Simões (2010) desenvolveu biscoitos adicionados com farinha do fruto de tucumã e verificou que o produto após ser submetido a uma temperatura de 30°C por período de 20 dias não apresentaram alterações organolépticas de deterioração, demonstrando boa conservação. Os frutos de palmeiras são muito apreciados nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, podendo ser utilizados na elaboração de ingredientes para a preparação de biscoitos e/ou outros produtos panificados, sendo uma importante estratégia de aproveitamento integral da fruta (Ribeiro *et al.*, 2021).

Além dos biscoitos, as farinhas oriundas de subprodutos de frutos de palmeiras podem ser utilizadas na produção de bolos, sendo viável do ponto de vista tecnológico e sensorial, pois a incorporação destas matérias-primas melhora as características de textura, atividade antioxidante, aumento da intensidade de cor e do teor de fibras dietéticas e não alterou as propriedades de cozimento (crescimento) da massa (Ambigaipalam *et al.*, 2015).

O bolo é um alimento de espuma semi-seca que contém bolsas de ar envolvidas por uma rede de amido e proteína, relativamente denso, com miolo macio e sabor doce. Os constituintes básicos são: farinha de trigo, açúcar, gordura, leite, emulsificante de ovo, fermento em pó e conservantes (Xu *et al.*, 2020). São usados em ocasiões especiais, como casamentos, aniversários, festas

e eventos especiais e amplamente consumidos como café da manhã ou lanche da tarde pelo sabor doce e textura macia (Xu *et al.*, 2020; Ukom *et al.*, 2022).

A utilização da torta residual da extração de óleos vegetais dos frutos de palmeiras pode ser considerada um ingrediente alimentar funcional para a elaboração de bolos. Garroni *et al.*, (2021) ao avaliarem a adição da farinha da torta da amêndoa de jerivá e macaúba em bolos tipo cupcake, observaram que os produtos ficaram até 87% mais firmes e até 14% menos elásticos. Apresentaram uma coloração mais clara, acinzentada e menos avermelhada, tendo um aspecto típico de produtos integrais.

O pão é o produto resultante do cozimento de uma massa obtida pela mistura de farinha de trigo e água potável, com ou sem adição de sal, fermentada por fermento de padeiro ou sourdough (García-Gómez *et al.*, 2022). É produzido com uma variedade de diferentes cereais (por exemplo, trigo, milho, arroz e cevada) e está disponível no mercado em diferentes tipos e formulações, sendo um dos alimentos básicos mais antigos e importantes na dieta da população (Carocho *et al.*, 2020).

Vale ressaltar que é outro produto panificado com potencialidades para a incorporação de subprodutos de frutos de palmeiras. A adição da farinha de macaúba em pães proporcionou uma coloração dourada, aumento de volume e uniformidade dos alvéolos no miolo (Oliveira, 2015). Barbosa (2019) ao elaborar um pão enriquecido com resíduo de licuri, verificou que obteve um maior teor de umidade, devido à alta capacidade de absorção de água do subproduto e alto conteúdo de cinzas.

A adição de subprodutos de frutos secos, como o açaí em pó em pães de forma ocasionou aumento da dureza conforme a maior quantidade de açaí, parâmetro de monitoramento de textura que está associado ao envelhecimento do pão e essencial para o estabelecimento da mastigabilidade do produto. A dureza depende especialmente do volume, ou seja, quanto maior o volume específico, maiores serão os alvéolos e, com isto, a proporção de espaços vazios é aumentada (Nogueira *et al.*, 2021).

Os produtos panificados adicionados com subprodutos de frutos de palmeiras apresentam aceitação sensorial quanto à impressão global no qual as formulações de biscoitos elaborados com a farinha de polpa de pupunha obtiveram um índice de aceitabilidade superior a 70%, valor mínimo para

aceitação sensorial de um produto alimentício (Ribeiro *et al.*, 2021). Porém, o pão adicionado com a farinha de macaúba apresentou rejeição nos aspectos de sabor (62,2%) e cor (62,2%) (Oliveira, 2015).

A aceitação sensorial é um fator chave para as indústrias de panificação, pois indica quais melhorias devem ser realizadas no produto quanto aos atributos de cor, aroma, sabor e textura para que seja viável para comercialização e escolha do consumidor. Ademais, proporciona a otimização das propriedades físico-químicas para obtenção da porcentagem adequada de substituição do ingrediente na panificação (Dube *et al.*, 2020).

O aproveitamento de resíduos agroindustriais para desenvolver produtos inovadores é consistente com a tendência de um mercado consumidor mais consciente que busca ações sustentáveis e indústrias que buscam matérias-primas renováveis e com valor nutricional comprovado, além disso, possuem baixo custo e impactos positivos no meio ambiente, tornando-se fundamental ampliar o potencial de exploração comercial, bem como sua aplicabilidade na área de ciência e tecnologia de alimentos (Majumder *et al.*, 2021).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A incorporação de subprodutos de frutos de palmeiras em formulações de panificados tem demonstrado potencial para melhorar o valor nutricional, o conteúdo de compostos bioativos, a atividade antioxidante e os atributos sensoriais dos produtos. Contudo, ainda são necessários estudos aprofundados sobre as propriedades reológicas das massas e das bases de panificação elaboradas com farinhas alternativas, a fim de compreender de forma mais precisa o impacto desses subprodutos na textura e no comportamento tecnológico das massas. Pesquisas futuras devem incluir avaliações reológicas detalhadas, bem como análises abrangentes dos compostos nutricionais e bioativos presentes nesses subprodutos.

A utilização de farinhas obtidas de frutos de palmeiras também se apresenta como uma estratégia promissora para reduzir o desperdício alimentar e, simultaneamente, aprimorar o perfil nutricional, funcional e sensorial de produtos panificados. Para o desenvolvimento de novos produtos, como pães, bolos e biscoitos, recomenda-se uma abordagem multidisciplinar que envolva

avaliações nutricionais, tecnológicas e sensoriais integradas, garantindo maior aceitação pelo consumidor e maior competitividade no mercado.

As farinhas provenientes de subprodutos de frutos de palmeiras demonstraram viabilidade como ingredientes alternativos na panificação, contribuindo para a diversificação alimentar, para o uso de matérias-primas locais e para a redução da dependência de farinhas importadas. Além disso, agregam valor cultural aos produtos regionais e mostram potencial para atender nichos de mercado especializados, incluindo consumidores que buscam produtos sem glúten, com maior qualidade nutricional e características sensoriais diferenciadas. Assim, esses ingredientes se destacam como componentes funcionais relevantes para a inovação no setor de panificação.

REFERÊNCIAS

- ABREU-NARANJO, R. *et al.* Bioactive compounds, phenolic profile, antioxidant capacity and effectiveness against lipid peroxidation of cell membranes of *Mauritia flexuosa* L. fruit extracts from three biomes in the Ecuadorian Amazon. **Heliyon**, v. 6, p. 1-10, 2020.
- ABSALOME, M.A. *et al.* Biochemical properties, nutritional values, health benefits and sustainability of palm oil. **Biochimie**, v. 178, p. 81-95, 2020.
- AHUJA, J.K.C. *et al.* Characterizing ingredients in commercially packaged baked products sold in the U.S.: An application of InqID. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 114, p. 104830, 2022.
- ALAZMI, A. *et al.* Activated carbon from palm date seeds for CO₂ capture. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, p. 12142-12152, 2021.
- AMBIGAIPALAN, P. *et al.* Date seed flour and hydrolysates affect physicochemical properties of muffin. **Food Bioscience**, v. 12, p. 54-60, 2015.
- ANDRADE, A.C. *et al.* Prebiotic potential of pulp and kernel cake from jerivá (*Syagrus romanzoffiana*) and macaúba palm fruits (*Acrocomia aculeata*). **Food Research International**, v. 136, p. 1-9, 2020.
- ARISE, A.K. *et al.* Development and quality evaluation of wheat cookies enriched with bambara groundnut protein isolate alone or in combination with ripe banana mash. **Applied Food Research**, v. 1, p. 100003, 2021.
- AQUINO, J.S. *et al.* Processamento de biscoitos adicionados de óleo de buriti (*Mauritia flexuosa* L.): uma alternativa para o consumo de alimentos fontes de vitamina A na merenda escolar. **Revista de Nutrição**, v. 25, p. 765-774, 2012.
- BAE, J.H. *et al.* Effect of dietary calcium on the gender-specific association between polymorphisms in the PTPRD locus and osteoporosis. **Clinical Nutrition**, v. 41, p. 680-686, 2022.
- BARBI, R.C.T. *et al.* Subcritical propane extraction of high-quality inajá (*Maximiliana maripa*) pulp oil. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 153, p. 1-11, 2019.

BARBOSA, J.M.L. **Avaliação do potencial nutricional do resíduo de licuri (*Syagrus coronata* Mart. Becc.) e sua aplicação na elaboração de pão enriquecido**. 2019. 50 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

BOATENG, L. *et al.* Coconut oil and palm oil's role in nutrition, health and national development: A review. **Ghana Medical Journal**, v. 50, p. 189-196, 2016.

CAMILI, E.A. *et al.* Efeito da farinha de babaçu nas características físico-químicas e sensoriais do biscoito sequilho. In: ZUFFO, A.M. (org.). **A produção do conhecimento nas Ciências Agrárias e Ambientais**. Ponta Grossa: Atena, 2019. cap. 4, p. 26-38.

CÂNDIDO, T.L.N. *et al.* Bioactive compounds and antioxidant capacity of buriti (*Mauritia flexuosa* L.f.) from the Cerrado and Amazon biomes. **Food Chemistry**, v. 177, p. 313-319, 2015.

CANALIS, M.S.B. *et al.* Effect of peach puree incorporation on cookie quality and on simulated digestion of polyphenols and antioxidant properties. **Food Chemistry**, v. 333, p. 127464, 2020.

CARDOSO, F.C. *et al.* Physicochemical characterization, bioactive compounds and antioxidant activity of pulp, peel, endocarpe and food paste developed with buriti pulp and waste (*Mauritia flexuosa* L.). **Scientia Plena**, v. 16, p. 111501-111510, 2020.

CAROCHO, M. *et al.* Comparison of different bread types: Chemical and physical parameters. **Food Chemistry**, v. 310, p. 125954, 2020.

CAVALCANTE-NETO, A.A. *et al.* Utilização de farinha de mesocarpo de babaçu (*Orbignya* sp.) no preparo de massa alimentícia fresca tipo talharim. **Brazilian Journal of Food Research**, v. 7, p. 105-115, 2016.

COIMBRA, M.C. *et al.* Proximate composition of guariroba (*Syagrus oleracea*), jerivá (*Syagrus romanzoffiana*) and macaúba (*Acrocomia aculeata*) palm fruits. **Food Research International**, v. 44, p. 2139-2142, 2011.

CUI, R. *et al.* Physicochemical, structural and nutritional properties of steamed bread fortified with red beetroot powder and their changes during breadmaking process. **Food Chemistry**, v. 383, p. 132547, 2022.

CHAGAS, E.G.L. *et al.* Enrichment of antioxidants compounds in cookies produced with camu-camu (*Myrciaria dubia*) coproducts powders. **LWT – Food Science and Technology**, v. 137, p. 110472, 2021.

CHOCKCHASAWASDEE, S. *et al.* Development of a gluten free bread enriched with faba bean husk as a fibre supplement. **LWT – Food Science and Technology**, v. 173, p. 114362, 2023.

DELLA-CORTE, T. *et al.* Is pizza suitable to type 1 diabetes? A real life identification of best compromise between taste and low glycemic index in patients on insulin pump. **Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews**, v. 14, p. 225-227, 2020.

DIFONZO, G. *et al.* Grape skin and seed flours as functional ingredients of pizza: Potential and drawbacks related to nutritional, physicochemical and sensory attributes. **LWT – Food Science and Technology**, v. 175, p. 114494, 2023.

DUARTE, F.N.D. *et al.* Potential properties of cashew apple (*Anacardium occidentale* L.) agro-industrial byproduct on *Lactobacillus* species. **Journal Science Food Agriculture**, v. 97, p. 3712-3719, 2017.

DUBE, N.M. *et al.* The efficacy of sorghum flour addition on dough rheological properties and bread quality: A short review. **Grain & Oil Science and Technology**, v. 4, p. 164-171, 2020.

DURÁN-ARANGUREN, D.D. *et al.* Design of a baked good using food ingredients recovered from agro-industrial by-products of fruits. **LWT – Food Science and Technology**, v. 185, e115174, 2023.

DHOBLE, S. *et al.* Comprehensive review on novel targets and emerging therapeutic modalities for pulmonary arterial Hypertension. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 621, p. 121792, 2022.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050**. Rome, 2018. 64 p.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Food wastage: Key facts and figures – Food wastage footprint: Impacts on natural resources**, 2023

FILHO, I.K. *et al.* Determination and chemometric evaluation of the mineral profile of maize flours. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 92, p. 103579, 2020.

FOSTE, M. *et al.* Fibres of milling and fruit processing by-products in gluten-free bread making: A review of hydration properties, dough formation and quality improving strategies. **Food Chemistry**, v. 306, p. 1-11, 2020.

GAGLIO, R. *et al.* Reuse of almond by-products: Functionalization of traditional semolina sourdough bread with almond skin. **International Journal of Food Microbiology**, v. 1, p. 110194, 2023.

GARCÍA-GÓMEZ, B. *et al.* Sensory descriptive analysis and hedonic consumer test for Galician type breads. **Food Control**, v. 134, p. 108765, 2022.

GARRONI, N. *et al.* Caracterização físico-química e tecnológica de bolos tipo cupcake incorporados com torta de amêndoa de jerivá e de macaúba. **Brazilian Journal of Food Research**, v. 12, p. 1-13, 2021.

GÉNOVA, L. *et al.* Pediatric age palm oil consumption. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 15, p. 651-660, 2018.

GOKSEN, G. *et al.* Use of aniseed cold-pressed by-product as a food ingredient in muffin formulation. **LWT – Food Science and Technology**, v. 148, p. 111722, 2021.

GOKSU, A.G. *et al.* Hazelnut peptide fractions preserve their bioactivities beyond industrial manufacture and simulated digestion of hazelnut cocoa cream. **Food Research International**, v. 161, p. 1-9, 2022.

GONÇALVES, S. *et al.* Bioactive properties of *Chamaerops humilis* L.: antioxidant and enzyme inhibiting activities of extracts from leaves, seeds, Pulp and peel. **Biotech**, v. 8, p. 88-95, 2018.

HUANG, S. *et al.* Associations of multiple plasma metals with the risk of metabolic syndrome: A cross-sectional study in the mid-aged and older population of China. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 231, p. 113183, 2022.

JARAMILLO-VIVANCO, T. *et al.* Three Amazonian palms as underestimated and little-known sources of nutrients, bioactive compounds and edible insects. **Food Chemistry**, v. 372, p. 1-13, 2022.

KAEWPRACHU, P. *et al.* Carboxymethyl cellulose from Young Palmyra palm fruit husk: Synthesis, characterization, and film properties. **Food Hydrocolloids**, v. 124, p. 1-8, 2022.

KARI, Z.A. *et al.* Palm date meal as a non-traditional ingredient for feeding aquatic animals: A review. **Aquaculture Reports**, v. 25, p. 1-11, 2022.

KRAUSE, S. *et al.* Applicability of pea ingredients in baked products: Links between formulation, reactivity potential and physicochemical properties. **Food Chemistry**, v. 386, p. 132653, 2022.

LIRA, E.M. *et al.* Proximate chemical, functional, and texture characterization of papaya seed flour (*Carica papaya*) for the preparation of bread. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 31, p. 100675, 2023.

LIU, Y. *et al.* Leaves, seeds and exocarp of *Ginkgo biloba* L. (Ginkgoaceae): A Comprehensive review of traditional uses, phytochemistry, pharmacology, resource utilization and toxicity. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 298, p. 1-18, 2022.

MAJUMDER, P. *et al.* Fruit and vegetable by-products: novel ingredients for a sustainable society. In: BHAT, R. (org.). **Valorization of agri-food wastes and by-products – Recent trends, innovations and sustainability challenges**. Tartu: Elsevier, 2021. cap. 7, p. 133-156.

MANISHA, J. *et al.* Valorization of food industry by-product (Pineapple Pomace): A study to evaluate its effect on physicochemical and textural properties of developed cookies. **Measurement: Food**, v. 6, p. 100031, 2022.

MARTINS, Z.E. *et al.* Food industry by-products used as functional ingredients of bakery products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 67, p. 106-128, 2017.

MATEUS, A.R.S. *et al.* By-products of dates, cherries, plums and artichokes: A source of valuable bioactive compounds. **Trends in Food Science & Technology**, v. 131, p. 220-243, 2023.

MATOS, K.A.N. *et al.* Peels of tucumã (*Astrocaryum vulgare*) and peach palm (*Bactris gasipaes*) are by-products classified as very high carotenoid sources. **Food Chemistry**, v. 272, p. 216-221, 2019.

MARTÍNEZ-GIRÓN, J. *et al.* Effect of temperature and particle size on physicochemical and techno-functional properties of peach palm peel flour (*Bactris gasipaes*, red and yellow ecotypes). **Food Science and Technology International**, v. 2, p. 1-10, 2021.

MAZUCO, R.A. *et al.* Maltodextrin and gum arabic-based microencapsulation methods for anthocyanin preservation in juçara palm (*Euterpe edulis* Martius) fruit pulp. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 73, p. 209-215, 2018.

MELESE, A.D. *et al.* Effects of blending ratios and baking temperature on physicochemical properties and sensory acceptability of biscuits prepared from pumpkin, common bean, and wheat composite flour. **Heliyon**, v. 8, p. 10848, 2022.

MIRPOOR, S.F. *et al.* Biorefining of seed oil cakes as industrial co-streams for production of innovative bioplastics. A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 109, p. 259-270, 2021.

MOHAN, I. *et al.* Pyrolysis of *Phoenix Dactylifera* and *Phyllanthus Emblica* seeds to produce biofuel. **Materials Today: Proceedings**, v. 1, p. 1-6, 2022.

MONTEIRO, G.M. *et al.* Baru (*Dipteryx alata* Vog.): Fruit or almond? A review on applicability in food science and technology. **Food Chemistry Advances**, v. 1, p. 1-10, 2022.

MONTEVECCHI, G. *et al.* Enrichment of wheat flour with Spirulina. Evaluation of thermal damage to essential amino acids during bread preparation. **Food Research International**, v. 157, p. 111357, 2022.

MCGILL, C.R. *et al.* Ten-year in fiber and whole grain intakes and food sources for the United States population: National health and nutrition examination survey 2001–2010. **Nutrients**, v. 7, p. 1119–1130, 2015.

NARTEA, A. *et al.* Cauliflower by-products as functional ingredient in bakery foods: Fortification of pizza with glucosinolates, carotenoids and phytosterols. **Current Research in Food Science**, v. 6, p. 100437, 2023.

NOGUEIRA, A.M. **Desenvolvimento de pães de fermentação natural cultivado em meio adicionado de açaí em pó**. 2021. 114 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

NUNZIO, M. *et al.* Olive oil by-product as functional ingredient in bakery products. Influence of processing and evaluation of biological effects. **Food Research International**, v. 131, p. 108940, 2020.

ONYEAKA, H.N. *et al.* Valorization of natural industrial agrofood byproducts. In: ONYEAKA, H.N.; NWABOR, O.F. **Food preservation and safety of natural products**. 1. ed. Elsevier: Amsterdã, 2022. cap. 17, p. 235-245.

OLIVEIRA, G.A. **Análise físico-química e sensorial de um pão elaborado com a farinha de macaúba (*Acrocomia aculeata*)**. 2015. 38 p. Monografia (Licenciatura em Química) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Ouricuri, 2015.

OLIVEIRA, G.L.S. *et al.* Produção e caracterização físico-química de “leite” de coco e microcápsulas da amêndoa do coco de babaçu. **Revista GEINTEC - Gestão, Inovação e Tecnologias**, v. 9, p. 5105-5116, 2019.

OTERO, P. *et al.* Applications of by-products from the olive oil processing: Revalorization strategies based on target molecules and green extraction technologies. **Trends in Food Science & Technology**, v. 116, p. 1084-1104, 2021.

PALIKA, R. *et al.* Efficacy of iron-folic acid treatment for reducing anemia prevalence and improving iron status in women of reproductive age: A one-year longitudinal study. **Clinical Nutrition ESPEN**, v. 49, p. 390-397, 2022.

PATHANIA, S. *et al.* Utilization of fruits and vegetable by-products for isolation of dietary fibres and its potential application as functional ingredients. **Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre**, v. 27, p. 1-8, 2022.

PEREIRA-FREIRE, J.A. *et al.* In Vitro and Ex Vivo chemopreventive action of *Mauritia flexuosa* products. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, v. 2018, p. 1-12, 2018.

PERMAL, R. *et al.* Converting industrial organic waste from the cold-pressed avocado oil production line into a potential food preservative. **Food Chemistry**, v. 306, p. 125635, 2019.

PURIC, M. *et al.* Application of defatted apple seed cakes as a by-product for the enrichment of wheat bread. **LWT – Food Science and Technology**, v. 130, p. 109391, 2020.

RESENDE, L.M. *et al.* Buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.) fruit by-products flours: Evaluation as source of dietary fibers and natural antioxidants. **Food Chemistry**, v. 270, p. 53-60, 2019.

RIBEIRO, G.S. *et al.* Peach palm flour: production, hygroscopic behaviour and application in cookies. **Heliyon**, v. 7, p. 1-8, 2021.

SAGRILLO, M.R. *et al.* Tucumã fruit extracts (*Astrocaryum aculeatum* Meyer) decrease cytotoxic effects of hydrogen peroxide on human lymphocytes. **Food Chemistry**, v. 15, p. 741-748, 2015.

SALAZAR-LÓPEZ, N.J. *et al.* Avocado fruit and by-products as potential sources of bioactive compounds. **Food Research International**, v. 138, p. 1-57, 2020.

SANTOS, M.D.F.G. *et al.* Amazonian native palm fruits as sources of antioxidant bioactive compounds. **Antioxidants**, v. 4, p. 591-602, 2015.

SANTOS, D. *et al.* Fruit and vegetable by-products' flours as ingredients: A review on production process, health benefits and technological functionalities. **LWT – Food Science and Technology**, v. 154, p. 112707, 2022.

SIMAS, K.N. **Resíduo do processamento da palmeira-real (*Archontophoenix alexandrae*) orgânica: Caracterização físico-química, aplicação em biscoitos fibrosos sem glúten e avaliação sensorial pelo consumidor celiaco**. 2008. 168 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

SIMÕES, D.L.V. **Composição nutricional e elaboração do biscoito e da barra de cereal do fruto de tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.)**. 2010. 59 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Segurança Alimentar), Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2010.

SINGH, T.C. **Avaliação dos parâmetros físico-químicos e estabilidade de compostos bioativos em óleos de polpa e amêndoa de frutos amazônicos**. 2015. 160 p. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2015.

SOWMYA, M. *et al.* Effect of replacement of fat with sesame oil and additives on rheological, microstructural, quality characteristics and fatty acid profile of cakes. **Food Hydrocolloids**, v. 23, p. 1827-1836, 2009.

SRIVASTAVA, S. *et al.* Development of microencapsulated vegetable oil powder based cookies and study of its physicochemical properties and storage stability. **LWT – Food Science and Technology**, v. 152, p. 112364, 2021.

TOLVE, R. *et al.* Wheat bread fortification by grape pomace powder: Nutritional, technological, antioxidant, and sensory properties. **Foods**, v. 10, p. 1-12, 2021.

TSOUKO, E. *et al.* Extraction of phenolic compounds from palm oil processing residues and their application as antioxidants. **Food Technology & Biotechnology**, v. 57, p. 29-38, 2019.

TIWARI, S. *et al.* Carotenoids: Extraction strategies and potential applications for valorization of under-utilized waste biomass. **Food Bioscience**, v. 48, p. 1-16, 2022.

UKOM, A.N. *et al.* Grapefruit peel powder as a functional ingredient in cake production: Effect on the physicochemical properties, antioxidant activity and sensory acceptability of cakes during storage. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 28, p. 100517, 2022.

WANG, A. *et al.* Development of protein-enriched biscuit based on oat-milk byproduct fortified with chickpea flour. **LWT – Food Science and Technology**, v. 177, p. 114594, 2023.

WHO – World Health Organization. **Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases**. Geneva, 2003. 149 p.

XU, J. *et al.* Advanced properties of gluten-free cookies, cakes, and crackers: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 103, p. 200-213, 2020.

ZANATTA, S. **Caracterização da macaúba (casca, polpa e amêndoa) e análise sensorial através da Educação do Gosto**. 2015. 109 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

ZHAO, X. *et al.* Succeeded hightemperature acid hydrolysis of granular maize starch by introducing heat-moisture pre-treatment. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 222, p. 2868-2877, 2022.

ZHANG, T. *et al.* Underlying mechanism governing the influence of peanut oil addition on wheat dough viscoelasticity and Chinese steamed bread quality. **LWT – Food Science and Technology**, v. 156, p. 113007, 2022.

PROTEÍNAS ALTERNATIVAS: REPENSANDO A MATRIZ ALIMENTAR GLOBAL

Julie Suzan da Silva
Universidade Estadual de Maringá (UEM)

RESUMO

A segurança alimentar global enfrenta um ponto de inflexão crítico, pressionada pelo crescimento populacional projetado para 10 bilhões de habitantes até 2050 e pela emergência climática que expõe a insustentabilidade dos sistemas pecuários convencionais. Este capítulo propõe uma revisão aprofundada sobre a reestruturação da matriz alimentar através das proteínas alternativas, categorizando-as em fontes vegetais (*plant-based*), obtidas por fermentação (biomassa e precisão), agricultura celular (carne cultivada) e entomofagia (insetos comestíveis). O objetivo central é analisar, sob a ótica da Ciência de Alimentos, as propriedades tecno-funcionais — como solubilidade, capacidade de retenção de água, emulsificação e gelificação —, o perfil nutricional comparativo e os complexos desafios de processamento que limitam a aplicação industrial dessas matrizes. A metodologia adotada foi uma revisão bibliográfica integrativa, selecionando artigos científicos de alto impacto publicados entre 2013 e 2025, com foco em avanços tecnológicos e caracterização bromatológica. As conclusões indicam que, embora as proteínas alternativas ofereçam soluções promissoras para mitigar a pegada de carbono e diversificar a oferta de nutrientes, existem gargalos significativos relacionados à mimetização da textura fibrosa da carne, à eliminação de sabores residuais (*off-flavors*) e à viabilidade econômica em escala. A integração de tecnologias emergentes, como a extrusão de alta umidade, o uso de campos elétricos pulsados e a impressão 3D, demonstra-se essencial para superar essas barreiras e garantir a aceitação sensorial pelo consumidor.

Palavras-chave: Proteínas Vegetais; Fermentação de Precisão; Carne Cultivada; Entomofagia; Propriedades Funcionais.

INTRODUÇÃO

A estabilidade dos sistemas alimentares globais encontra-se sob ameaça sem precedentes, exacerbada por uma confluência de fatores demográficos, ambientais e sociais. Estima-se que a demanda global por alimentos aumentará entre 59% a 98% até 2050, impulsionada não apenas pelo crescimento populacional, mas também pela transição nutricional em países em desenvolvimento, onde o aumento da renda per capita correlaciona-se com um maior consumo de proteínas animais. O modelo predominante de produção de proteínas, aliçado na pecuária intensiva, é intrinsecamente ineficiente na conversão de energia e recursos, sendo responsável por uma parcela significativa das emissões antropogênicas de gases de efeito estufa, desmatamento para pastagens e monoculturas de ração, além do consumo excessivo de água doce. A continuidade deste modelo é incompatível com os limites planetários, exigindo uma mudança de paradigma urgente para sistemas alimentares que consigam nutrir a humanidade dentro de um espaço operacional seguro e justo para a biosfera (AIKING; DE BOER, 2020).

Neste contexto de crise e oportunidade, as proteínas alternativas emergem não como uma tendência passageira, mas como um pilar fundamental para a resiliência futura da cadeia de suprimentos. A diversificação das fontes proteicas — migrando de uma dependência quase exclusiva de bovinos, suínos e aves para um espectro que inclui leguminosas, microalgas, fungos e insetos — oferece vantagens tangíveis. Estas incluem uma menor pegada de carbono, uso reduzido de terras aráveis e a possibilidade de produção desacoplada de condições climáticas adversas, como no caso da fermentação em biorreatores. Além dos benefícios ambientais, a transição para proteínas alternativas alinha-se com preocupações de saúde pública, oferecendo perfis nutricionais que podem ser otimizados para conter menos gorduras saturadas, ausência de colesterol e maior densidade de fibras e fitonutrientes (ISMAIL *et al.*, 2020).

Contudo, a substituição de proteínas animais por alternativas não é uma tarefa trivial do ponto de vista tecnológico. As proteínas animais, como as miofibrilares da carne ou as caseínas do leite, possuem funcionalidades únicas de formação de gel, emulsificação e texturização que foram otimizadas ao longo de séculos de ciência e culinária. As proteínas alternativas, por outro

lado, frequentemente apresentam desafios estruturais complexos. Proteínas vegetais globulares, por exemplo, tendem a ter menor solubilidade em pHs ácidos e podem apresentar estruturas terciárias e quaternárias resistentes à desnaturação e reestruturação necessárias para formar texturas análogas à carne. A Ciência de Alimentos deve, portanto, intervir com processos inovadores de fracionamento, isolamento e modificação estrutural, física, química ou enzimática, para “desbloquear” a funcionalidade dessas novas moléculas (GROSSMANN; MCCLEMENTS, 2023).

A aceitação do consumidor permanece como o árbitro final do sucesso dessas inovações. Fatores sensoriais, especialmente sabor e textura, são os principais determinantes da escolha alimentar, muitas vezes sobrepondo-se a motivações éticas ou ambientais. A presença de *off-flavors* característicos, como o sabor de “feijão” em leguminosas ou notas de “terra” em proteínas de insetos, representa uma barreira técnica significativa. Além disso, a neofobia alimentar — o medo de ingerir novos alimentos — afeta a adoção de categorias disruptivas como insetos e carne cultivada. Estratégias que aumentem a familiaridade, como o uso de produtos híbridos – misturas de carne e vegetais – ou a mimetização perfeita de produtos tradicionais, hambúrgueres, salsichas), são essenciais para facilitar a transição dietética em massa (SIDDIQUI *et al.*, 2022).

O desenvolvimento de um arcabouço regulatório robusto e transparente também é vital para a legitimação do setor. Questões sobre a nomenclatura de produtos (ex: “leite” vegetal, “carne” de laboratório), a segurança de novos ingredientes obtidos por engenharia genética, fermentação de precisão e a avaliação de riscos alergênicos em novas fontes, como insetos, estão no centro dos debates políticos e científicos. A harmonização global dessas normas e a garantia de segurança alimentar são pré-requisitos para que as proteínas alternativas possam escalar de nichos de mercado para a base da alimentação global. Portanto, este capítulo visa explorar as nuances científicas e tecnológicas que permeiam cada categoria de proteína alternativa, avaliando seu potencial real de reconfigurar a matriz alimentar global (GREEN *et al.*, 2022).

DISCUSSÃO

Proteínas Vegetais (Plant-Based)

As proteínas vegetais constituem a categoria mais madura e diversificada no mercado de alternativas. A Ciência de Alimentos tem se dedicado a mapear não apenas o teor proteico, mas a qualidade funcional dessas proteínas, buscando fontes que ofereçam equilíbrio entre custo, funcionalidade e valor nutricional.

Derivadas de Leguminosas

As leguminosas são consideradas a espinha dorsal das proteínas alternativas devido à sua capacidade de fixação de nitrogênio e alto teor proteico. A soja (*Glycine max*) permanece hegemônica devido ao seu perfil balanceado de aminoácidos e excelentes propriedades de gelificação, formação de tofu, texturizados, mas a demanda por rótulos “livres de soja” impulsionou o estudo de outras fontes. A ervilha (*Pisum sativum*) emergiu como a principal sucessora, valorizada por sua baixa alergenicidade. No entanto, isolados de ervilha frequentemente sofrem com baixa solubilidade e notas de sabor indesejáveis causadas pela oxidação de lipídios e presença de saponinas, exigindo processamento adicional. Tecnologias como a fermentação prévia dos grãos têm sido estudadas para melhorar o perfil sensorial e a digestibilidade (THAVARAJAH *et al.*, 2023).

O grão-de-bico (*Cicer arietinum*) tem ganhado destaque como um ingrediente funcional premium. Estudos recentes focaram na otimização de seus concentrados proteicos através de solubilização alcalina seguida de precipitação isoelétrica. Os resultados indicam que as albuminas e globulinas do grão-de-bico possuem capacidades superiores de emulsificação e formação de espuma em comparação à soja, além de uma cor clara que facilita a aplicação em análogos de laticínios e maioneses veganas sem alterar a aparência do produto final. A modificação enzimática dessas proteínas tem se mostrado uma via promissora para aumentar sua solubilidade em uma faixa de pH mais ampla, expandindo seu uso para bebidas ácidas (ZHANG *et al.*, 2022).

Outra leguminosa de alto potencial é o tremoço (*Lupinus spp.*), historicamente consumido na região do Mediterrâneo e nos Andes. Com um teor

proteico que pode ultrapassar 40% no grão, o tremço rivaliza com a soja. Suas proteínas, principalmente as congulinhas, exibem excelente capacidade de retenção de água e óleo, tornando-as ideais para melhorar a suculência e a textura de hambúrgueres vegetais e salsichas. No entanto, a presença de alcaloides quinolizidínicos, que conferem amargor e toxicidade, exige etapas rigorosas de processamento ("*debittering*") que podem impactar o custo e a sustentabilidade do processo. Avanços no melhoramento genético para variedades de "tremço doce" e métodos de extração aquosa otimizados estão mitigando essas barreiras (CHUKWUEJIM *et al.*, 2024).

A fava (*Vicia faba*) também ressurgiu como uma cultura robusta e adaptável a climas frios. Suas proteínas, leguminas e vicilinas, possuem propriedades de gelificação térmica interessantes, embora a presença de favismo (deficiência de G6PD em consumidores sensíveis) e fatores antinutricionais como vicina e convicina exijam atenção. A tecnologia de fracionamento a seco (*air classification*) tem sido aplicada com sucesso em favas e ervilhas, oferecendo uma alternativa mais sustentável e econômica à extração úmida, preservando a funcionalidade nativa das proteínas e mantendo uma matriz mais complexa que pode beneficiar a textura final dos produtos (ZHANG *et al.*, 2024).

A lentilha (*Lens culinaris*) completa o quadro das principais leguminosas. Embora seu uso em isolados seja menos comum que o da ervilha, a lentilha é amplamente utilizada na forma de farinhas integrais ou concentrados para enriquecimento proteico de massas e snacks. A interação entre o amido e a proteína na lentilha oferece propriedades únicas de expansão em produtos extrusados. O desafio reside na variabilidade da matéria-prima e na necessidade de mascarar a cor escura de algumas variedades em aplicações onde a brancura é desejada, como em queijos vegetais ou leites (MOURA *et al.*, 2023).

Derivadas de Grãos

Os cereais e pseudocereais desempenham um papel complementar crítico na formulação de produtos *plant-based*. Embora seu teor proteico total seja geralmente inferior ao das leguminosas, eles são ricos em aminoácidos sulfurados (metionina e cisteína), que são limitantes nas leguminosas. O trigo, através do glúten, é a proteína vegetal texturizada original (*seitan*), oferecendo

uma viscoelasticidade única que é difícil de replicar. No entanto, a demanda por produtos sem glúten tem impulsionado a investigação de proteínas de arroz (*Oryza sativa*) e milho (*Zea mays*). As proteínas do arroz, particularmente as glutelinas, são hipoalergênicas e têm boa digestibilidade, mas sua alta insolubilidade em água limita sua aplicação funcional, exigindo frequentemente hidrólise enzimática ou tratamentos físicos agressivos para melhorar a dispersibilidade em bebidas (YAO *et al.*, 2022).

A aveia (*Avena sativa*) consolidou-se no mercado de bebidas vegetais devido ao seu sabor suave e doce natural, além da presença de beta-glucanas que conferem cremosidade. No entanto, o teor proteico do “leite” de aveia é geralmente baixo em comparação ao de soja ou vaca. O desafio tecnológico atual é o enriquecimento proteico dessas bebidas sem comprometer a estabilidade coloidal ou causar separação de fases e sedimentação. O uso de concentrados de proteína de aveia, obtidos por processos enzimáticos que removem o amido, está permitindo o desenvolvimento de iogurtes e queijos de aveia com perfis nutricionais melhorados e texturas mais firmes (GROSSMANN; MCCLEMENTS, 2023).

Os pseudocereais como a quinoa (*Chenopodium quinoa*) e o amaranto (*Amaranthus spp.*) são valorizados por seu perfil de aminoácidos excepcionalmente equilibrado, contendo lisina, que é deficiente na maioria dos cereais verdadeiros. As albuminas e globulinas da quinoa apresentam propriedades de emulsificação comparáveis à caseína do leite. No entanto, o alto custo da matéria-prima e a presença de saponinas amargas na casca, que requerem lavagem ou polimento, ainda restringem seu uso a produtos de nicho ou de alto valor agregado. A pesquisa foca em métodos de extração sustentáveis que valorizem também o óleo e o amido desses grãos em um conceito de biorrefinaria (MOURA *et al.*, 2023).

O trigo sarraceno (*Fagopyrum esculentum*), apesar do nome, é um pseudocereal sem glúten que tem demonstrado potencial em análogos de lácteos. Estudos reológicos indicam que as suspensões de farinha de trigo sarraceno gelatinizam a temperaturas mais baixas que outros grãos, criando viscosidade elevada que pode ser benéfica para iogurtes e sobremesas, mas desafiadora para bebidas fluidas. Além disso, a presença de compostos fenólicos como a rutina confere valor antioxidante, mas pode influenciar a cor e o sabor. A modulação

dessas características através de processamento térmico e enzimático é chave para sua aplicação industrial (YAO *et al.*, 2022).

A cevada (*Hordeum vulgare*) e o sorgo (*Sorghum bicolor*) estão emergindo como fontes resilientes às mudanças climáticas. A proteína de cevada, muitas vezes um subproduto da indústria cervejeira, está sendo recuperada e valorizada. O desafio aqui é a complexidade da matriz, rica em fibras insolúveis, que exige tecnologias de extração avançadas, como fermentação em estado sólido ou hidrólise alcalina, para liberar as proteínas e torná-las funcionalmente ativas para uso em panificação ou análogos de carne (HEFFERON *et al.*, 2023).

Derivadas de Sementes

Sementes oleaginosas e botânicas representam uma classe de ingredientes densos em nutrientes, combinando proteínas de alta qualidade com gorduras insaturadas. O cânhamo (*Cannabis sativa*) é um exemplo proeminente, contendo edestina e albumina, proteínas de fácil digestão. A funcionalidade da proteína de cânhamo é limitada por sua baixa solubilidade e cor esverdeada, mas seu sabor de nozes é bem aceito. Ela é amplamente usada em barras e pós proteicos. O desafio tecnológico é aumentar a pureza dos isolados sem desnaturar as proteínas, muitas vezes sensíveis ao calor gerado na prensagem do óleo (MOURA *et al.*, 2023).

A chia (*Salvia hispanica*) e a linhaça (*Linum usitatissimum*) são conhecidas por sua capacidade de formar mucilagens em contato com a água. Essa propriedade hidrocoloide é excelente para substituição de ovos em panificação e para dar corpo a bebidas, mas dificulta a extração de proteínas puras, pois a goma interfere na separação. Métodos de extração a seco ou o uso de enzimas para hidrolisar a mucilagem são estratégias em desenvolvimento para obter concentrados proteicos dessas sementes que mantenham suas propriedades funcionais sem a viscosidade excessiva das gomas (RAWIWAN *et al.*, 2022).

A semente de abóbora (*Cucurbita pepo*) tem ganhado tração devido à sua cor verde vibrante e perfil nutricional rico em zinco e magnésio. Diferente de outras proteínas vegetais, as globulinas de semente de abóbora demonstram boa solubilidade em condições ligeiramente ácidas, o que abre portas para aplicações em sucos fortificados e bebidas esportivas. No entanto, a presença

de compostos fenólicos pode levar a alterações de cor indesejadas e interações que reduzem a digestibilidade proteica, exigindo etapas de purificação ou encapsulamento (SIDDIQUI *et al.*, 2022).

O girassol (*Helianthus annuus*) e a colza (*Brassica napus*) são as maiores fontes mundiais de tortas proteicas resultantes da extração de óleo. Historicamente destinadas à ração animal, essas proteínas estão sendo redirecionadas para a alimentação humana ("upcycling"). O principal obstáculo para a proteína de girassol é a presença de ácido clorogênico, que oxida e torna os produtos verdes ou marrons em pH alcalino. Já a colza contém glucosinolatos e fitatos que devem ser removidos. Tecnologias de membrana e extração com solventes alternativos estão sendo otimizadas para produzir isolados claros e funcionais dessas fontes abundantes (GREEN *et al.*, 2022).

Sementes de melancia e outras cucurbitáceas estão sendo exploradas como fontes de desperdício zero. A extração de proteínas dessas sementes, muitas vezes descartadas como resíduos, alinha-se perfeitamente com os princípios da economia circular. Estudos iniciais mostram que essas proteínas possuem boas propriedades de emulsificação e formação de espuma, podendo servir como alternativas econômicas em produtos de panificação e confeitaria, substituindo proteínas mais caras como a do ovo ou do leite (OTERO *et al.*, 2022).

Derivadas de Brotos e Folhas

A utilização de biomassa verde (folhas) para extração de proteínas representa uma das fronteiras mais inovadoras e desafiadoras. A proteína RuBisCO (Ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase), enzima central na fotossíntese, está presente em todas as folhas verdes e é considerada a proteína mais abundante na Terra. Em sua forma purificada, a RuBisCO é incolor, insípida e possui propriedades de gelificação e formação de espuma que rivalizam ou superam a clara de ovo e as proteínas do soro do leite. Isso a torna um fator importante para a indústria, oferecendo funcionalidade sem aportar sabores vegetais indesejados (GROSSMANN; MCCLEMENTS, 2023).

O desafio crítico na extração de RuBisCO é a complexidade da matriz da folha vegetal. A proteína está encapsulada dentro dos cloroplastos, cercada por paredes celulares rígidas e uma abundância de polifenóis e clorofila. A ruptura

celular libera esses compostos, que podem se complexar com a proteína, causando precipitação, escurecimento e perda de digestibilidade. O processo de extração exige múltiplas etapas de filtração, centrifugação e, muitas vezes, o uso de solventes ou floculantes para separar a “proteína branca” (RuBisCO) da “proteína verde”, associada à clorofila e membranas, o que atualmente eleva o custo de produção (HEFFERON *et al.*, 2023).

Brotos de leguminosas e cereais germinados são outra estratégia para melhorar a qualidade proteica. O processo de germinação ativa enzimas endógenas que hidrolisam proteínas de reserva em peptídeos menores e aminoácidos livres, melhorando a digestibilidade e a biodisponibilidade. Além disso, a germinação reduz significativamente fatores antinutricionais como o ácido fítico. Proteínas de brotos de feijão-mungo ou lentilha, por exemplo, demonstram melhor solubilidade e propriedades funcionais modificadas em comparação com a proteína do grão quiescente, sendo aplicadas em bebidas funcionais e alimentos infantis (ZHANG *et al.*, 2022).

A Lemna (lentilha-d’água), uma planta aquática flutuante, é uma fonte emergente de crescimento extremamente rápido. A Lemna pode dobrar sua biomassa em 24-48 horas e contém um perfil de aminoácidos semelhante ao da soja. Diferente das culturas terrestres, ela não requer terras aráveis e recicla água com eficiência. A proteína de Lemna (RuBisCO em grande parte) tem mostrado excelentes propriedades funcionais. O desafio é garantir a segurança microbiológica e a ausência de metais pesados, já que a planta é uma bioacumuladora eficiente, além de desenvolver métodos de colheita e secagem eficientes energeticamente (EILAM *et al.*, 2023).

Por fim, a exploração de subprodutos agrícolas, como folhas de beterraba, rama de cenoura ou folhas de brócolis, para a recuperação de proteínas foliares está ganhando atenção. Esses resíduos, gerados em toneladas, contêm proteínas valiosas que são atualmente desperdiçadas ou usadas como compostagem. O desenvolvimento de biorrefinarias verdes que possam fracionar esses resíduos em proteínas, fibras e fitoquímicos representa um avanço significativo para a sustentabilidade do sistema alimentar, transformando passivos ambientais em ingredientes de alto valor (ISMAIL *et al.*, 2020).

Proteínas de Fermentação

A fermentação, uma tecnologia ancestral, foi reinventada como uma plataforma de ponta para a produção sustentável de proteínas. Ela permite a criação de ingredientes desacoplados das flutuações climáticas e da agricultura extensiva.

Micoproteínas e Biomassa Fúngica

Fungos filamentosos, notavelmente *Fusarium venenatum*, são cultivados em biorreatores utilizando substratos como glicose, amido ou resíduos agroindustriais. A principal vantagem tecnológica das micoproteínas reside na morfologia das hifas fúngicas: filamentos longos e ramificados que mimetizam naturalmente a microestrutura das miofibrilas da carne animal. Isso confere aos produtos à base de micoproteína uma textura “carnuda” e uma mordida superior, muitas vezes sem a necessidade dos processos intensivos de extrusão exigidos pelas proteínas vegetais globulares. O desafio de processamento inclui o controle rigoroso da razão RNA/proteína, geralmente reduzida por tratamento térmico para evitar riscos de saúde associados ao excesso de ácidos nucleicos. A biomassa resultante é versátil, podendo ser moldada em cubos, filés ou moída, absorvendo bem sabores e mantendo a suculência (COELHO *et al.*, 2020).

Fermentação de Precisão

A fermentação de precisão utiliza microrganismos como leveduras, bactérias ou fungos geneticamente modificados como “fábricas celulares” para produzir proteínas específicas de alto valor. O exemplo mais notável é a produção de leg-hemoglobina de soja por leveduras *Pichia pastoris*, utilizada para conferir cor vermelha e sabor metálico característico de sangue a hambúrgueres vegetais. Outras aplicações revolucionárias incluem a produção de caseínas e proteínas do soro do leite para criar laticínios “sem vaca” que possuem as mesmas propriedades de derretimento e elasticidade dos queijos tradicionais, algo que as proteínas vegetais lutam para replicar. O desafio aqui é a purificação (*downstream processing*) para obter a proteína alvo com alto

grau de pureza e a aceitação regulatória e do consumidor para ingredientes OGM (HEFFERON *et al.*, 2023).

Biomassa de Microalgas

Microalgas como *Spirulina*, *Chlorella* e *Nannochloropsis* são cultivadas por seu alto teor proteico e perfil nutricional completo. No entanto, a parede celular robusta das microalgas, muitas vezes composta de celulose complexa ou algeenan, dificulta a digestibilidade e a extração de proteínas intracelulares. Métodos de ruptura celular eficientes, como homogeneização de alta pressão ou hidrólise enzimática, são essenciais. Outro obstáculo significativo é a cor verde intensa e o sabor de algas que limitam a aplicação em produtos neutros. O cultivo heterotrófico, em fermentadores escuros alimentados por açúcar, tem sido a solução tecnológica para produzir microalgas como *Chlorella* com cor amarela clara e sabor neutro, permitindo sua incorporação em pães, massas e queijos análogos sem rejeição sensorial (EILAM *et al.*, 2023).

Fermentação de Estado Sólido

A fermentação de estado sólido (FES) é aplicada para modificar matérias-primas vegetais, como o tempeh tradicional, soja fermentada por *Rhizopus*. Modernamente, a FES é usada para valorizar subprodutos como farelo de trigo ou tortas de oleaginosas. O crescimento fúngico na matriz sólida secreta enzimas que quebram antinutrientes, melhoram a digestibilidade da proteína e enriquecem o substrato com vitaminas e antioxidantes. Além disso, o micélio fúngico atua como um aglutinante natural, permitindo a criação de blocos de proteína texturizada inteiros ("*whole cuts*") que se assemelham a bifes ou peitos de frango, uma categoria de produto ainda pouco explorada pelas tecnologias de extrusão convencionais (MOURA *et al.*, 2023).

Fermentação de Gás

Uma das fronteiras mais inovadoras é a produção de proteína microbiana a partir de gases (hidrogênio, CO₂, metano) utilizando bactérias hidrogenotróficas

ou metanotróficas. Essas bactérias convertem gases de efeito estufa ou hidrogênio (que pode ser produzido com energia renovável) em biomassa rica em proteína unicelular (SCP - Single Cell Protein). Esse processo desacopla completamente a produção de proteína da necessidade de terras agrícolas e fotossíntese. A biomassa resultante, após lise celular e secagem, é um pó proteico que pode ser usado em análogos de carne ou ração animal. O desafio reside na otimização da transferência de massa gás-líquido nos biorreatores e na garantia de segurança do produto final para consumo humano (GREEN *et al.*, 2022).

Proteínas Cultivadas em Laboratório

A agricultura celular representa a mudança mais radical e disruptiva na produção de alimentos. A carne cultivada é produzida pelo cultivo de células animais *in vitro*, permitindo a obtenção de carne real sem a necessidade de criação e abate de animais.

Engenharia de Tecidos e Scaffolds

Para criar um pedaço de carne estruturado e não apenas uma pasta de células, é necessário o uso de *scaffolds* (suportes ou andaimes). Esses suportes fornecem uma estrutura tridimensional onde as células podem aderir, proliferar e diferenciar-se. A Ciência de Alimentos foca no desenvolvimento de *scaffolds* comestíveis, feitos de biopolímeros como alginato, quitosana, proteína de soja texturizada ou celulose bacteriana. O desafio é criar um suporte que mimetize a rigidez e a porosidade da matriz extracelular nativa, permitindo a perfusão de nutrientes e oxigênio para as células no interior do tecido, e que degrade ou se integre sensorialmente ao produto final durante o cozimento (DOMIGAN *et al.*, 2022 *apud* HEFFERON *et al.*, 2023).

Meios de Cultura e Custo

O meio de cultura, que fornece os nutrientes como aminoácidos, glicose, vitaminas e fatores de crescimento para as células, é o principal driver de custo da carne cultivada. Historicamente dependente de soro fetal bovino (FBS), a

indústria está em uma corrida para desenvolver meios livres de componentes animais (*serum-free*), utilizando fatores de crescimento recombinantes produzidos por fermentação ou extratos de plantas e algas como substitutos econômicos. A reciclagem do meio de cultura em biorreatores para remover metabólitos tóxicos, como amônia, e repor nutrientes é uma estratégia de engenharia crucial para a viabilidade econômica em larga escala (TUOMISTO *et al.*, 2014 *apud* GREEN *et al.*, 2022).

Biorreatores e Bioprocessos

A escalabilidade exige biorreatores de design inovador. Diferente da fermentação microbiana, as células animais são sensíveis ao cisalhamento e requerem agitação suave, mas eficiente transferência de massa. Biorreatores de tanque agitado, de fibra oca ou de leito empacotado estão sendo adaptados. O controle preciso de parâmetros como pH, oxigênio dissolvido e temperatura é vital. Além disso, a co-cultura de diferentes tipos celulares, miócitos para músculo, adipócitos para gordura, no mesmo reator ou a mistura posterior de massas celulares é necessária para replicar o perfil sensorial e nutricional complexo da carne convencional (JOSEPH *et al.*, 2020).

Produtos Híbridos

Devido aos custos atuais proibitivos da carne 100% cultivada, a indústria está convergindo para produtos híbridos. Estes utilizam uma base majoritária de proteína vegetal texturizada enriquecida com uma porcentagem (ex: 10-20%) de gordura cultivada ou células musculares cultivadas. A gordura cultivada é particularmente valiosa, pois é responsável pelos compostos voláteis e pela suculência específicos da espécie como o sabor de vaca, porco, frango, algo que os óleos vegetais como coco e canola não conseguem replicar perfeitamente. Essa abordagem pragmática permite introduzir a tecnologia no mercado mais rapidamente, melhorando a qualidade dos produtos *plant-based* atuais (SIDDIQUI *et al.*, 2022).

Aspectos Sensoriais e Nutricionais

A carne cultivada tem o potencial de ser nutricionalmente superior, com perfis de ácidos graxos customizáveis (ex: carne com mais ômega-3 e menos gordura saturada). No entanto, a falta de exercício muscular no tecido cultivado, a ausência de circulação sanguínea e a maturação post-mortem diferente podem resultar em texturas e sabores distintos da carne convencional. A adição de micronutrientes e a aplicação de estímulos elétricos ou mecânicos às células durante o cultivo são estratégias estudadas para promover a hipertrofia muscular e o desenvolvimento de textura fibrosa autêntica (VAN VLIET *et al.*, 2021).

Proteínas de Insetos

A entomofagia, prática ancestral e comum em muitas culturas ao redor do mundo, está sendo modernizada e industrializada para a produção de alimentos e rações de forma sustentável. Insetos como o grilo doméstico (*Acheta domestica*), a larva da farinha (*Tenebrio molitor*) e a mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) são as espécies mais exploradas devido à sua facilidade de criação e perfil nutricional.

Processamento e Funcionalidade

O processamento de insetos começa com o abate, geralmente por congelamento, seguido de lavagem, tratamento térmico, para segurança microbiológica e inativação de enzimas causadoras de escurecimento e secagem. A moagem resulta em farinha integral de inseto. No entanto, para melhorar a funcionalidade, a farinha é frequentemente desengordurada, gerando um concentrado proteico e um óleo rico em ácidos graxos, como o ácido láurico na mosca soldado negra. Processos de hidrólise enzimática podem ser aplicados para melhorar a solubilidade e liberar peptídeos bioativos. A tecnologia de extração assistida por ultrassom ou fluidos supercríticos está sendo explorada para obter isolados de proteína de inseto com cor clara e sabor neutro, removendo a quitina insolúvel (ROS-BARÓ *et al.*, 2022).

Funcionalidade Tecnológica

As proteínas de insetos, especialmente as solúveis, apresentam boas propriedades de formação de espuma e emulsificação, comparáveis ou superiores a algumas proteínas vegetais. A capacidade de gelificação varia conforme a espécie e o método de extração; proteínas de *Tenebrio molitor* mostram boa gelificação térmica. Essas propriedades permitem a aplicação em produtos de panificação, substituindo parte da farinha de trigo, em análogos de carne e em bebidas proteicas. A quitina residual, embora insolúvel, pode atuar como espessante ou estabilizante em certas formulações, além de seu papel como fibra dietética (ZHANG *et al.*, 2024).

Aceitação e Aplicações Invisíveis

A principal barreira para proteínas de insetos no ocidente é o “fator nojo”. Portanto, a estratégia da indústria foca na incorporação invisível: farinhas e extratos proteicos em produtos familiares como massas, biscoitos, barras energéticas e hambúrgueres. A impressão 3D de alimentos utilizando pastas à base de farinha de insetos permite criar formas e texturas que não lembram o animal original, facilitando a aceitação. A educação sobre os benefícios nutricionais como alto teor de ferro, zinco, B12 e ambientais é crucial para mudar a percepção do consumidor (ONWEZEN *et al.*, 2021).

Segurança Química e Alergênica

Insetos podem bioacumular contaminantes do substrato em que são criados. Se alimentados com resíduos, há riscos de metais pesados, micotoxinas e pesticidas. O controle rigoroso da ração é essencial. Além disso, proteínas de insetos, como a tropomiosina e a arginina quinase, são pan-alérgenos que apresentam reatividade cruzada com crustáceos e ácaros. A rotulagem clara é obrigatória para proteger consumidores alérgicos a frutos do mar. Processos de hidrólise térmica ou enzimática podem reduzir, mas não eliminar completamente, a alergenicidade (VAN DER SPIEGEL *et al.*, 2013).

Sustentabilidade e Circularidade

Insetos são campeões da economia circular, capazes de converter resíduos orgânicos como cascas de frutas, subprodutos de cervejaria, em proteína e gordura de alta qualidade. O resíduo da criação de insetos (*frass*) é um excelente fertilizante orgânico. A Ciência de Alimentos trabalha para garantir que a qualidade e a segurança da proteína do inseto sejam mantidas constantes, mesmo quando a dieta do inseto varia, permitindo sistemas de produção flexíveis e sustentáveis (OTERO *et al.*, 2022).

CONCLUSÃO

A reconfiguração da matriz alimentar global através de proteínas alternativas é um processo irreversível e necessário, impulsionado pela urgência de sistemas alimentares mais sustentáveis e saudáveis. A Ciência de Alimentos desempenha um papel central e transformador nesse cenário, permitindo a conversão de matérias-primas não convencionais — leguminosas, fungos, algas, células animais e insetos — em produtos alimentícios seguros, nutritivos e sensorialmente atrativos. As proteínas vegetais, já consolidadas no mercado, continuarão a liderar a transição a curto e médio prazo, com avanços contínuos nas tecnologias de texturização, como a extrusão úmida e a impressão 3D, e formulação com uso de novos ingredientes funcionais para mimetizar cada vez melhor a experiência da carne. As proteínas obtidas por fermentação, tanto de biomassa quanto de precisão, oferecem um caminho promissor para a funcionalidade tecnológica e o enriquecimento nutricional, permitindo a criação de produtos com perfis sensoriais superiores e menor impacto ambiental. A carne cultivada, embora ainda enfrente desafios significativos de escala e custo, detém o potencial disruptivo de revolucionar a ética e a sustentabilidade da produção de carne a longo prazo, oferecendo uma alternativa livre de abate e com menor pegada de carbono. Os insetos, por sua vez, consolidam-se como uma solução de alta eficiência para a conversão de biomassa e valorização de resíduos, com grande potencial tanto para alimentação humana quanto animal.

O sucesso e a consolidação dessas alternativas dependerão da capacidade da indústria e da academia em superar desafios técnicos remanescentes, como

a melhoria da textura, a eliminação de *off-flavors* e, crucialmente, a redução dos custos de produção para alcançar a paridade de preço com as proteínas convencionais. Além disso, a aceitação do consumidor, mediada pela percepção de naturalidade, saudabilidade e transparência, será determinante para a velocidade dessa transição. A educação e a comunicação eficaz sobre os benefícios ambientais e nutricionais dessas novas fontes proteicas são essenciais. Em última análise, um sistema alimentar global resiliente e sustentável não dependerá de uma única solução, mas sim de um ecossistema diversificado e integrado onde todas essas fontes proteicas coexistam e se complementem, garantindo a segurança alimentar e nutricional para uma população crescente, respeitando os limites planetários.

REFERÊNCIAS

- AIKING, H.; DE BOER, J. The next protein transition. **Trends in Food Science & Technology**, v. 105, p. 515–522, 2020.
- CHUKWUEJIM, S.; UTIOH, A.; CHOI, T. D.; ALUKO, R. E. Lupin Seed Proteins: A Comprehensive Review of Composition, Extraction Technologies, Food Functionality, and Health Benefits. **Food Reviews International**, v. 40, n. 2, p. 691-714, 2024.
- COELHO, M.; SALAS-MELLADO, M.; MENEZES, C.; TRIBST, M. Mycoprotein as a healthy alternative to meat: A review. **Nutrition Reviews**, v. 78, n. 12, p. 1025–1034, 2020.
- EILAM, Y.; KHATTIB, H.; PINTEL, N.; AVNI, D. Microalgae—Sustainable Source for Alternative Proteins and Functional Ingredients Promoting Gut and Liver Health. **Global Challenges**, v. 7, n. 5, p. 2200177, 2023.
- GREEN, A.; BLATTMANN, C.; CHEN, C.; MATHYS, A. The role of alternative proteins and future foods in sustainable and contextually-adapted flexitarian diets. **Trends in Food Science & Technology**, v. 124, p. 250-258, 2022.
- GROSSMANN, L.; MCCLEMENTS, D. J. Current insights into protein solubility: A review of its importance for alternative proteins. **Food Hydrocolloids**, v. 137, p. 108416, 2023.
- HEFFERON, K. L.; DE STEUR, H.; PEREZ-CUETO, F. J. A.; HERRING, R. Alternative protein innovations and challenges for industry and consumer: an initial overview. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 7, p. 1038286, 2023.
- ISMAIL, P.; SENARATNE-LENAGALA, L.; STUBE, A.; BRACKENRIDGE, A. Protein demand: Review of plant and animal proteins used in alternative protein product development and production. **Animal Frontiers**, v. 10, n. 4, p. 53–63, 2020.
- JOSEPH, P.; SEARING, A.; WATSON, C.; MCKEAGUE, J. Alternative Proteins: Market Research on Consumer Trends and Emerging Landscape. **Meat and Muscle Biology**, v. 4, n. 2, p. 1-11, 2020.

MOURA, M. A. F.; MARTINS, B. A.; OLIVEIRA, G. P.; TAKAHASHI, J. A. Alternative protein sources of plant, algal, fungal and insect origins for dietary diversification in search of nutrition and health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 63, n. 31, p. 10691-10708, 2023.

ONWEZEN, M. C.; BOUWMAN, E. P.; REINDERS, M. J.; DAGEVOS, H. A systematic review on consumer acceptance of alternative proteins: Pulses, algae, insects, plant-based meat alternatives, and cultured meat. *Appetite*, v. 159, p. 105058, 2021.

OTERO, D. M.; MENDES, G. R. L.; LUCAS, A. J. S.; CHRIST-RIBEIRO, A.; RIBEIRO, C. D. F. Exploring alternative protein sources: Evidence from patents and articles focusing on food markets. *Food Chemistry*, v. 394, p. 133486, 2022.

RAWIWAN, P.; PENG, Y.; PARAMAYUDA, I. G. P. B.; QUEK, S. Y. Red seaweed: A promising alternative protein source for global food sustainability. *Trends in Food Science & Technology*, v. 123, p. 37-56, 2022.

ROS-BARÓ, M.; CASAS-AGUSTENCH, P.; DÍAZ-RIZZOLO, D. A.; BATLLE-BAYER, L.; ADRIÀ-ACOSTA, F.; AGUILAR-MARTÍNEZ, A.; MEDINA, F.-X.; PUJOLÀ, M.; BACH-FAIG, A. Edible Insect Consumption for Human and Planetary Health: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 19, n. 18, p. 11653, 2022.

SIDDIQUI, S. A.; ALVI, T.; SAMEEN, A.; KHAN, S.; BLINOV, A. V.; NAGDALIAN, A. A.; MEHDIZADEH, M.; ADLI, D. N.; ONWEZEN, M. Consumer Acceptance of Alternative Proteins: A Systematic Review of Current Alternative Protein Sources and Interventions Adapted to Increase Their Acceptability. *Sustainability*, v. 14, n. 22, p. 15370, 2022.

THAVARAJAH, D.; LAWRENCE, T.; BOATWRIGHT, L.; WINDSOR, N.; JOHNSON, N.; KAY, J.; SHIPE, E.; KUMAR, S.; THAVARAJAH, P. Organic dry pea (*Pisum sativum* L.): A sustainable alternative pulse-based protein for human health. *Plos One*, v. 18, n. 4, p. e0284380, 2023.

VAN DER SPIEGEL, M.; NOORDAM, M. Y.; VAN DER FELS-KLERX, H. J. Safety of novel protein sources (insects, microalgae, seaweed, duckweed, and rapeseed) and legislative aspects for their application in food and feed production. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 12, n. 6, p. 662-678, 2013.

VAN VLIET, S.; BAIN, J. R.; MUEHLBAUER, M. J.; PROVENZA, F. D.; KRONBERG, S. L.; PIEPER, C. F.; HUFFMAN, K. M. A metabolomics comparison of plant-based meat and grass-fed meat indicates large nutritional differences despite comparable Nutrition Facts panels. *Scientific Reports*, v. 11, n. 1, p. 13828, 2021.

YAO, Y.; HE, W.; CAI, X.; BEKHIT, A. E.-D. A.; XU, B. Sensory, physicochemical and rheological properties of plant-based milk alternatives made from soybean, peanut, adlay, adzuki bean, oat and buckwheat. *International Journal of Food Science & Technology*, v. 57, n. 8, p. 4868-4878, 2022.

ZHANG, X.; ZHANG, Z.; SHEN, A.; ZHANG, T.; JIANG, L.; EL-SEEDI, H.; ZHANG, G.; SUI, X. Legumes as an alternative protein source in plant-based foods: Applications, challenges, and strategies. *Current Research in Food Science*, v. 9, p. 100876, 2024.

ZHANG, Y.; HUANG, X.; ZENG, X.; LI, L.; JIANG, Y. Preparation, functional properties, and nutritional evaluation of chickpea protein concentrate. *Cereal Chemistry*, v. 99, n. 6, p. 1-12, 2022.

CAFÉ DE AÇAÍ: CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E CONCENTRAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS EM DIFERENTES FORMAS DE PREPARO PARA CONSUMO

Beatriz Botelho Klein

Instituto Federal de Mato Grosso - Campus Cuiabá - Bela Vista

Jorge Neto Ganiko

Instituto Federal de Mato Grosso Campus Cuiabá - Bela Vista

Adriana Paiva de Oliveira

Instituto Federal de Mato Grosso - Campus Cuiabá - Bela Vista

RESUMO

Este trabalho objetivou avaliar parâmetros físico-químicos de dois procedimentos de preparo para consumo de cafés de açaí: a extração a quente e a extração a frio. Foram coletadas seis marcas de café de açaí, distribuídas em dois lotes. As amostras foram preparadas de duas formas: extração a frio (2 g em 50 mL de água, agitação por 30 min e filtração) e infusão quente (mesma proporção, aquecimento próximo à ebulição e filtração). O pH e o teor de sódio foram medidos por potenciometria, a condutividade por condutimetria, a acidez total por titulação de neutralização, e a vitamina C por titulação redox. Os fenólicos totais foram determinados pelo método de Folin-Ciocalteu, e as antocianinas por extração em etanol, ambos por espectrofotometria UV-Visível. Os parâmetros apresentaram variações entre as marcas e os processos de extração: pH variou de $4,41 \pm 0,53$ a $6,68 \pm 0,08$; acidez total titulável de $0,19 \pm 0,01$ a $2,50 \pm 0,17\%$ (em ácido cítrico); condutividade elétrica de $190 \pm 25,93$ a $321 \pm 6,84 \mu\text{S/cm}$; e teor de sódio de $3,00 \pm 0,00$ a $48,67 \pm 0,58 \text{ mg/L}$. Os compostos bioativos também apresentaram variação conforme o preparo, sendo o teor de fenólicos totais entre $0,013 \pm 0,000$ e $1,716 \pm 0,077 \text{ mg EAG/100 g}$, as antocianinas de $0,001 \pm 0,000$ a $0,006 \pm 0,000 \text{ mg/100 g}$ e o ácido ascórbico de $8,80$ a $1.056,78 \pm 0,102 \text{ mg/100 g}$. Os resultados sugerem que o preparo influencia os parâmetros físico-químicos, especialmente nos compostos bioativos. Conclui-se que o café de açaí tem potencial como bebida sustentável, valorizando os resíduos do fruto, contribuindo para a bioeconomia regional e para a redução de impactos ambientais.

Palavras-chave: Análise Físico-Química; Compostos Bioativos; *Euterpe Oleracea* Mart.; Sustentabilidade Alimentar.

INTRODUÇÃO

O Mato Grosso, no Centro-Oeste do Brasil, é um estado crucial devido à sua significativa biodiversidade, abrangendo três biomas essenciais: o Pantanal, o Cerrado e a Amazônia (NUNES *et al.*, 2017; BARRETO *et al.*, 2020). Contudo, a rápida expansão das fronteiras agrícolas tem provocado a diminuição dessas áreas naturais, resultando em sérios impactos ambientais e climáticos e ameaçando a fauna e a flora locais. Nesse cenário, a caracterização das frutas nativas torna-se fundamental não apenas para a compreensão dos recursos presentes na vasta biodiversidade brasileira, mas também para fornecer subsídios às práticas de conservação bioeconômica (CARAUTA *et al.*, 2021; BERGAMO *et al.*, 2022; IPAM AMAZÔNIA, 2022).

Dentre os recursos naturais de importância cultural e econômica, destaca-se o açaí, amplamente consumido como fonte alimentar, nutricional e de renda, especialmente entre comunidades indígenas e ribeirinhas na Amazônia. A palmeira de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.), nativa da região, tem histórico de uso popular como recurso terapêutico e seus potenciais efeitos benéficos no controle glicêmico têm despertado grande interesse científico (LEMOS, 2024). O valor econômico do açaí é notável. Em 2024, a produção nacional atingiu 1.741.757 toneladas, gerando R\$ 7.770.712 milhões (IBGE, 2024). A área colhida no Brasil expandiu-se de 137 mil hectares em 2015 para 262 mil hectares em 2024.

No contexto mato-grossense, a produção concentra-se principalmente em municípios do norte, como Matupá e Colniza. Visando incentivar a produção em larga escala, o Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) publicou a PORTARIA SPA/MAPA Nº 5, DE 20 DE FEVEREIRO DE 2024, que define o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) para o cultivo de açaí irrigado. Tal zoneamento indica que estados como Mato Grosso terão incentivos para ampliar significativamente sua produção (MAPA, 2024), uma vez que a região Centro-Oeste apresenta condições edafoclimáticas favoráveis.

O aumento da produção, no entanto, gera uma preocupação ambiental crítica: as sementes (caroços), que representam cerca de 83% do peso do fruto após a retirada da polpa (LEMOS, 2024). A polpa, principal produto comercializado no Brasil e no exterior por seu alto valor nutricional e por seus compostos bioativos (EMBRAPA, 2021; MATTIETTO *et al.*, 2024), apresenta demanda crescente

associada a um maior volume de caroços. O descarte inadequado desse resíduo volumoso tem agravado o impacto ambiental (MIRANDA *et al.*, 2022).

Portanto, torna-se crucial desenvolver alternativas sustentáveis que promovam o uso integral do fruto, valorizando seus subprodutos, reduzindo o descarte e superando os desafios tecnológicos no processamento. Nesse contexto de valorização e sustentabilidade, o café de açaí, uma bebida alternativa elaborada a partir de sementes torradas, vem conquistando popularidade crescente. Promovida como uma opção saudável, com potenciais benefícios, como aumento de energia e propriedades antioxidantes (LE MOS, 2024), essa bebida se alinha à tendência do mercado por alimentos ricos em nutrientes e compostos bioativos (AMORIM *et al.*, 2023). Estes compostos são reconhecidos por fortalecer o sistema imunológico, otimizar a absorção de minerais e exercer ações anti-inflamatórias e antioxidantes (SILVA *et al.*, 2024).

Dessa forma, o consumo de café de açaí representa uma dupla contribuição: para a saúde pública, por oferecer compostos bioativos, e para a sustentabilidade produtiva e inovação social, ao reaproveitar um resíduo de alto volume do processamento do açaí. Apesar de sua popularidade, a literatura científica ainda carece de estudos que descrevam detalhadamente as propriedades químicas e nutricionais deste novo produto. Neste contexto, este estudo teve como objetivo principal determinar a concentração de compostos bioativos (compostos fenólicos totais, antocianinas totais e vitamina C) e caracterizar propriedades físico-químicas (pH, condutividade elétrica, acidez total titulável e sódio) em duas formas de preparo do café de açaí: extração a quente e a frio.

MÉTODOS

Coleta e preparo das amostras

Foram adquiridas seis marcas de café de açaí, sendo duas no comércio varejista de Cuiabá-MT e as demais por *e-commerce* direto com os produtores, em dois lotes distintos. Todas as amostras são oriundas do Estado do Pará e foram codificadas como: A1, A2, B1, B2, C1, C2, E1, E2, F1 e F2, sendo a extração a quente (LQ) e a extração a frio (LF).

As amostras de café de açai foram submetidas a dois diferentes tipos de preparo: extrato aquoso por extração a frio utilizando 2 g de amostra com 50 mL de água destilada à temperatura ambiente de 25°C, sob agitação magnética por 30 minutos, seguido de filtração em papel filtro quantitativo; e o extrato aquoso por extração a quente, com a mesma proporção de amostra e água, porém próximo ao ponto de ebulição, aproximadamente 76°C, seguido também de filtração e resfriamento à temperatura ambiente de 25°C, conforme as instruções do fabricante, descritas nas embalagens das amostras.

Reagentes e equipamentos

Todos os reagentes utilizados no desenvolvimento do trabalho foram de grau analítico adequado aos procedimentos de análise.

As medidas de massa foram realizadas em uma balança analítica (marca Shimadzu, modelo BL320H).

Para o preparo das amostras e das soluções analíticas, foram utilizados água deionizada de alta pureza (resistividade 18,2 MΩ cm), obtida em um sistema deionizador (marca QUIMIS, modelo Q-380M), agitador magnético (marca LGI Scientific, modelo LGI-MSH-2) e chapa aquecedora (marca 7Lab).

Para a determinação do pH, utilizou-se um pHmetro de bancada (marca Hanna, modelo HI2221) e, para a determinação da condutividade elétrica, um condutivímetro portátil (marca OMEGA, modelo CDH-93). Já o teor de sódio foi medido em um analisador potenciométrico portátil (marca Horiba, modelo LAQUAtwin).

As determinações das concentrações dos compostos fenólicos totais e das antocianinas totais foram realizadas em um espectrofotômetro UV-Visível (marca Kasvi, modelo K37-VIS).

Métodos

A acidez total titulável (ATT) foi determinada por titulação de neutralização utilizando hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 mol/L como solução padrão e fenolftaleína 1% (m:v) como indicador químico, segundo método 018/IV do Instituto Adolfo Lutz (2008). O método consiste na neutralização de íons H⁺ com

uma base forte e, para isso, foram pipetados 15 mL dos extratos em erlenmeyer de 250 mL, adicionando-se 100 mL de água deionizada e 0,5 mL de indicador químico. Em seguida, procedeu-se à titulação com solução padronizada de NaOH 0,1 mol/L sob agitação constante, até o aparecimento de coloração rósea persistente por 30 segundos. As análises foram realizadas em triplicata.

O pH foi determinado por potenciometria direta dos extratos, utilizando um pHmetro de bancada devidamente calibrado, conforme o procedimento 017/IV do Instituto Adolfo Lutz (IAL 017IV), que consiste na imersão do eletrodo de medição do pHmetro na amostra até a estabilização da leitura do potencial hidrogeniônico. A condutividade elétrica também foi determinada por leitura direta em condutivímetro previamente calibrado, com imersão total da amostra até a estabilização da leitura, e o teor de sódio por potenciometria direta em eletrodo específico, mediante a calibração prévia do instrumento (IAL, 2008). Todas as determinações também foram realizadas em triplicata.

A determinação dos compostos fenólicos totais foi realizada pelo método de Folin-Ciocalteu (NARITA *et al.*, 2022), com adaptações. Inicialmente, foram pesados 0,20 g dos extratos que foram transferidos para tubos Falcon de 15 mL. Então, adicionaram-se 10 mL de solução aquosa de metanol a 50% (v/v), e as amostras foram mantidas em repouso, no escuro, por 1 h, protegidas com papel-alumínio. Em seguida, a mistura foi filtrada em papel de filtro, coletando-se o filtrado. O resíduo retido no papel foi lavado com 10 mL de solução aquosa de acetona 70% (v/v), e ambos os filtrados foram reunidos em balão volumétrico de 25 mL, completando-se o volume com água deionizada. O extrato obtido foi homogeneizado e mantido em repouso, no escuro, por 1 h. Posteriormente, foram retirados 5 mL do extrato e transferidos para um tubo Falcon de 50 mL, adicionando-se 5 mL da solução aquosa de Folin-Ciocalteu 33,3% (v/v), 10 mL de água destilada e 10 mL de solução de carbonato de sódio 20% (m/v). A mistura foi homogeneizada e mantida em repouso, ao abrigo da luz, por 30 min à temperatura ambiente. Após o tempo de reação dos extratos Folin-Ciocalteu, foram realizadas as leituras no espectrofotômetro UV-Visível a 700 nm. A curva analítica foi obtida em ácido gálico P.A com a adição do reagente de Folin-Ciocalteu e da solução aquosa de carbonato de sódio 20% (m:v), na faixa de concentração de 0,0 a 50,0 mg mL⁻¹, utilizando a padronização externa. Todas as determinações foram realizadas em triplicata e acompanhadas de branco analítico.

A determinação da concentração de antocianinas totais também foi realizada por espectrofotometria UV-Visível a 535 nm, segundo as metodologias descritas por Lima *et al.* (2011) e por Fuleki e Francis (1968). Para isso, 2,0 g dos extratos foram dissolvidos em 25 mL de etanol PA, transferidos, com auxílio de água deionizada, para um balão volumétrico de 50 mL (coberto com papel-alumínio), e o volume foi completado com água deionizada até a marca de aferição.

O teor de ácido ascórbico (vitamina C) foi quantificado por titulação de oxidação-redução (iodometria) segundo o método 364/IV do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008), no qual 10 g dos extratos foram transferidos para um erlenmeyer de 250 mL, com auxílio de aproximadamente 50 mL de água deionizada. Em seguida, foram adicionados 10 mL de solução aquosa de ácido sulfúrico a 20% (v:v) e 1 mL de solução aquosa de iodeto de potássio a 10% (m:v) e 1 mL de solução aquosa indicadora de amido a 1% (m:v). Após esta etapa, as amostras foram tituladas com solução padrão de iodato de potássio 0,02 mol/L até a coloração azul. Todas as determinações foram realizadas em triplicata.

Tratamento estatístico

Os resultados foram apresentados como média $\pm$ desvio padrão. A análise dos dados foi realizada utilizando software JAMOV com pacote R (JAMOV, 2024; R CORE TEAM, 2023). A normalidade dos resíduos foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$), que verifica a aderência à distribuição normal. Para dados que atenderam aos pressupostos de normalidade, aplicou-se a ANOVA de fator único e, quando observada diferença entre os tratamentos, submeteu-se as médias ao teste de Tukey ($p < 0,05$; $p < 0,01$) apresentando na forma de tabela como valor médio dos dois lotes e desvio padrão. Os resultados que apresentaram valores não normais ($p \leq 0,05$) foram apresentados em gráficos com valor médio e desvio padrão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 1 e 2 mostram os resultados obtidos para os parâmetros acidez total titulável (ATT), pH e condutividade elétrica para os dois procedimentos de preparo avaliados, a extração aquosa a quente e a frio nas amostras de café de açaí.

Tabela 1. Resultados obtidos (média dos dois lotes $\pm$ desvio padrão) dos parâmetros físico-químicos de ATT, condutividade elétrica e pH nas amostras de café de açaí de diferentes marcas preparadas por extração a quente.

Parâmetros/ Amostras	A	B	C	D	E	F
ATT** (mg/100mL)	0,192 $\pm$ 0,00b	0,225 $\pm$ 0,05b	0,417 $\pm$ 0,05a	0,289 $\pm$ 0,05ab	0,192 $\pm$ 0,00b	0,192 $\pm$ 0,00b
Condutividade elétrica* (μ S/ cm)	265 $\pm$ 28,75ab	190 $\pm$ 25,93b	226 $\pm$ 5,66b	321 $\pm$ 6,84 ^a	321 $\pm$ 22,86a	320 $\pm$ 12,73a
pH *	6,11 $\pm$ 0,22ac	6,68 $\pm$ 0,81a	6,63 $\pm$ 0,026b	5,96 $\pm$ 0,14abc	5,54 $\pm$ 0,39c	5,80 $\pm$ 0,20abc

^{a,b} | letras minúsculas iguais sobrescritas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey; n.s.: não difere estatisticamente ($p > 0,05$); * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.

A acidez titulável total (ATT) é uma medida de todos os prótons ácidos em uma amostra, incluindo os não dissociados, que podem ser neutralizados pela adição de uma base forte (RAO; FULLER, 2018). Neste trabalho, a acidez total titulável (ATT) variou significativamente entre as marcas nos procedimentos de extração avaliados (0,192 a 2,501mg /100 mL), com valores mais elevados na extração a frio, refletindo a preservação de ácidos orgânicos sensíveis ao calor e sugerindo interações entre a composição química das sementes e a degradação térmica. Assim, a diferença nos resultados da ATT entre extração a quente e a frio pode ser atribuída à interação entre a cinética, a seletividade e a estabilidade química dos ácidos orgânicos. A extração a quente é rápida e pode causar degradação térmica de ácidos termolábeis, reduzindo os portadores de carga e diminuindo a ATT. Já a extração a frio, mais lenta, preserva esses ácidos e é mais seletiva aos que contribuem para a ATT, resultando em maior concentração de ácido não degradado na matéria-prima.

Tabela 2. Resultados obtidos (média dos dois lotes $\pm$ desvio padrão) dos parâmetros físico-químicos de ATT, condutividade elétrica e pH nas amostras de café de açaí de diferentes marcas preparadas por extração a frio.

Parâmetros/ Amostras	A	B	C	D	E	F
ATT** (mg/100mL)	1,82 $\pm$ 0,04a	2,382 $\pm$ 0,25a	0,233 $\pm$ 0,035b	1,816 $\pm$ 0,38a	2,501 $\pm$ 0,169a	0,203 $\pm$ 0,007b
Condutividade elétrica* (μ S/ cm)	269 $\pm$ 100,64ns	204 $\pm$ 27,577ns	248 $\pm$ 21,213ns	308 $\pm$ 0,472ns	321 $\pm$ 17,913ns	260 $\pm$ 76,839ns
pH *	5,19 $\pm$ 0,0445A	5,03 $\pm$ 0,030A	5,46 $\pm$ 0,0424A	5,17 $\pm$ 0,0070A	4,41 $\pm$ 0,5303B	4,41 $\pm$ 0,0375B

a,b; A,B|letras minúsculas/maiúsculas iguais sobrescritas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey; n.s.: não difere estatisticamente ($p > 0,05$); 1Valores não normais pelo teste de Shapiro-Wilk; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.

As medições de pH quantificam a concentração de íons de hidrogênio aquosos no momento da análise, fornecendo uma métrica da quantidade de moléculas de ácido desprotonadas em uma amostra (RAO; FULLER, 2018). O pH, mais ácido na extração a frio (4,41 a 5,46), corroborou essa tendência, com diferenças significativas ($p < 0,05$) atribuídas à neutralização parcial de ácidos durante o aquecimento (EMBRAPA, 2021). O pH mais elevado na extração a quente (5,19), em comparação a extração a frio, reflete menor ATT, ambos devido à degradação térmica dos ácidos orgânicos. A extração a frio preserva esses ácidos, mantendo maior dissociação e pH mais baixo (RAO; FULLER, 2018).

Os valores de pH do café de açaí variaram de 4,41 a 6,68. Segundo Celestino Negrão (2023), o pH de bebidas como o café tende a apresentar valores levemente ácidos (entre 5,3 e 6,5), sendo considerado um marcador sensível da qualidade e do processamento, além de influenciar o perfil sensorial e nutricional do produto. De acordo com Seixas e Junior (2021), a ausência de compostos como cafeína, trigonelina e ácido clorogênico presentes no café tradicional (ALVES *et al.*, 2006), mas não detectados no café de açaí, pode contribuir para valores de pH mais elevados nessa bebida.

A condutividade elétrica obteve valores próximos entre os procedimentos de extração, variando de 204 a 321 μ S/cm, sem diferenças significativas ($p > 0,05$) na extração a frio. No entanto, na extração a quente, foram observados valores mais elevados (ex.: marca D, 321 $\pm$ 6,84 μ S/cm). Isto pode ser atribuído ao aumento da temperatura, que faz com que os íons se movam mais rapidamente, aumentando a mobilidade iônica e reduzindo a viscosidade do líquido.

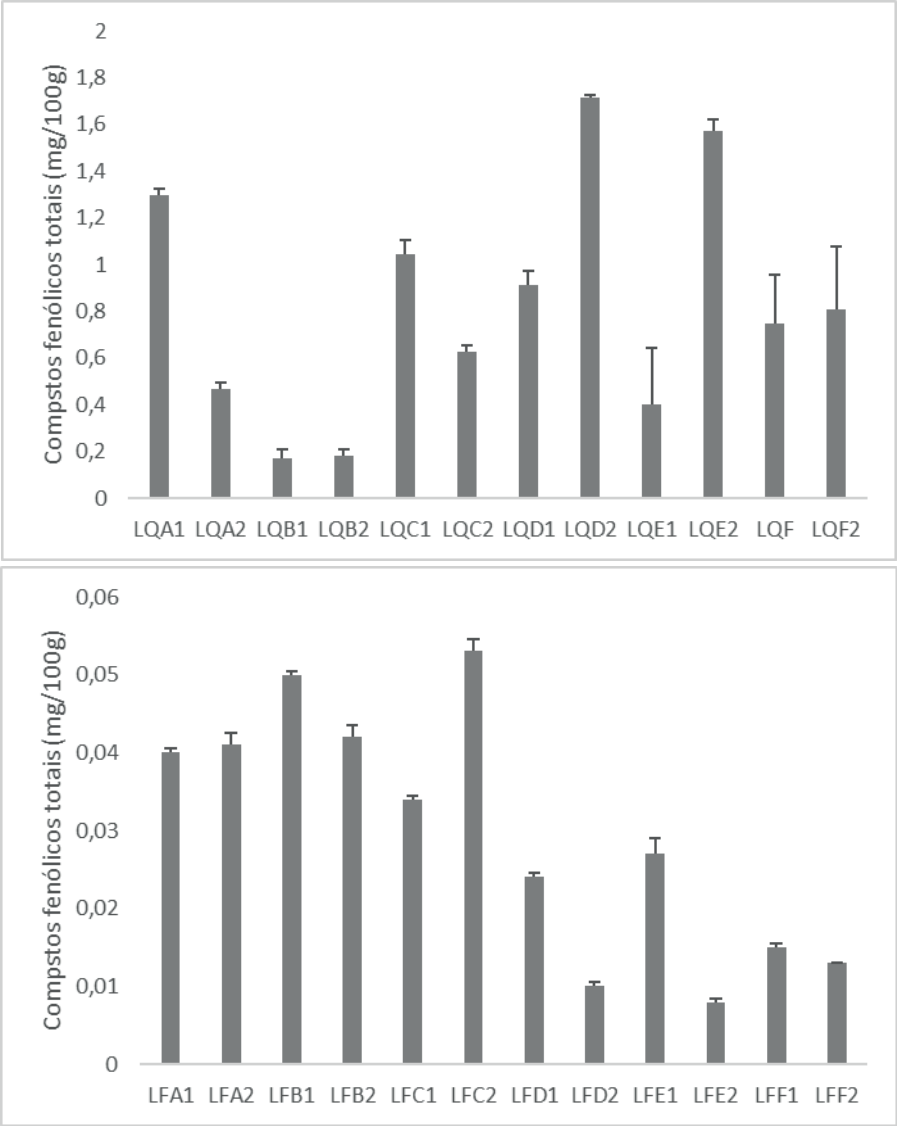
Como resultado, os íons conseguem se mover mais livremente e a maior velocidade, transportando a carga de forma mais eficiente (CAVALCANTI *et al.*, 2024; SKOOG *et al.*, 2015). Isto pode refletir na liberação de minerais durante o processo, influenciando a percepção sensorial e a estabilidade do produto.

Na determinação de compostos fenólicos totais, foram obtidas curvas analíticas com excelentes coeficientes de correlação linear ($r > 0,98$) e limites de detecção e quantificação adequados para a quantificação dos analitos nas amostras.

A extração a quente apresentou valores de compostos fenólicos totais superiores aos da extração a frio (Figura 1), o que pode ser atribuído à maior solubilidade e à quebra de ligações moleculares pelo calor (SILVEIRA NETA *et al.*, 2024).

Algumas pesquisas têm buscado diferentes formas de maximizar a extração de biomoléculas em bebidas, principalmente em chás, preservando suas melhores propriedades sensoriais e aumentando a vida útil dos componentes ativos (BANERJEE; CHATTERJEE, 2014).

Figura 1. Resultados obtidos (média $\pm$ desvio padrão, mg/100 g) da concentração de compostos fenólicos totais nos procedimentos de extração a quente e a frio, em dois lotes de seis amostras de café de açaí.



Fonte: Próprio autor (2025)

Firmino *et al.* (2015) verificaram que a extração por infusão a quente, com agitação mecânica, resultou em maiores teores de polifenóis totais e flavonoides em 25 amostras de chás verdes coletadas em Salvador – BA. Já Leão *et al.* (2016)

avaliaram diferentes formas caseiras de extração de polifenóis em chás brancos e verdes e verificaram que a extração a quente, a 80 °C, por tempo prolongado, apresentou melhores resultados. Trindade *et al.* (2018) verificaram o mesmo comportamento para chás de camomila, observando que a decocção com água fervente a 80 °C por 15 minutos apresentou os maiores teores de compostos fenólicos totais e de flavonoides.

Bitweel *et al.* (2023), em um trabalho de revisão sobre diferentes métodos modernos e convencionais de extração de fitoquímicos em plantas, indicaram que a extração a quente de compostos fenólicos e flavonoides termolábeis deve ser realizada a uma temperatura máxima de 100 °C.

Antony e Farid (2022) justificaram três mecanismos para o comportamento dos polifenóis em altas temperaturas: a liberação de compostos fenólicos insolúveis pela quebra das ligações lignina-ácido fenólico, a degradação da lignina produzindo mais ácidos fenólicos, e a degradação térmica dos polifenóis, que geralmente ocorre a temperaturas mais baixas em extrações convencionais (80 °C) do que na extração líquida pressurizada (150–200 °C). Desta forma, o aumento do teor de compostos fenólicos totais em altas temperaturas pode estar relacionado à ruptura das ligações lignina-ácido fenólico ou à decomposição da lignina.

Os resultados obtidos de polifenóis, nos dois tipos de extração, variaram de 0,013 a 1,716 mg/100 g. Costa *et al.* (2020) determinaram o teor de compostos fenólicos nos caroços de açaí torrados coletados *in situ*, processados e torrados sob condições controladas, obtendo o valor de 81,33 mg/100 g, o que sugere uma diminuição dos teores destes compostos durante os dois processos de extração.

Os teores de antocianinas nos extratos a quente e a frio das amostras de café de açaí avaliadas variaram entre 0,00100 e 0,00500 mg/100 g, e verificou-se que a extração a quente apresentou os maiores teores desses compostos. Alguns estudos indicam a importância de avaliação das condições de armazenamento e processamento na degradação de antocianinas em alimentos, devido a alterações no pH, na temperatura, na luz e na disponibilidade de oxigênio, que afetam negativamente a estrutura desses compostos (LIMA *et al.*, 2024).

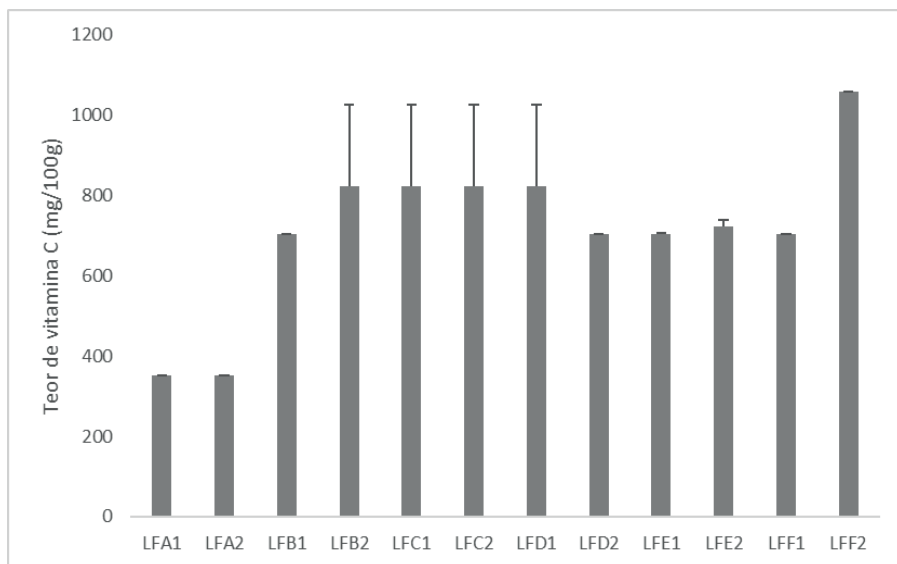
Os compostos bioativos do café de açaí, como polifenóis e antocianinas, apoiam alegações de benefícios terapêuticos (ex.: controle glicêmico,

propriedades anti-inflamatórias), posicionando-o como alternativa saudável aos cafés e chás tradicionais (LEMOS, 2024).

Os teores de vitamina C, para extração a quente, das amostras de café de açaí dos dois lotes avaliados encontraram-se no limite de quantificação da técnica analítica volumétrica de oxidação-redução, que, neste caso, foi de aproximadamente 8,80 mg/100 g. Este limite baseou-se no volume mínimo de titulante a ser consumido e medido no material volumétrico, a fim de garantir a reprodutibilidade.

Já para a extração a frio, os resultados obtidos para vitamina C nos extratos das amostras de café de açaí estão ilustrados na Figura 2.

Figura 2. Resultados obtidos (média $\pm$ desvio padrão, mg/100 g) da concentração de vitamina C no procedimento de extração a frio, em dois lotes de seis amostras de café de açaí.



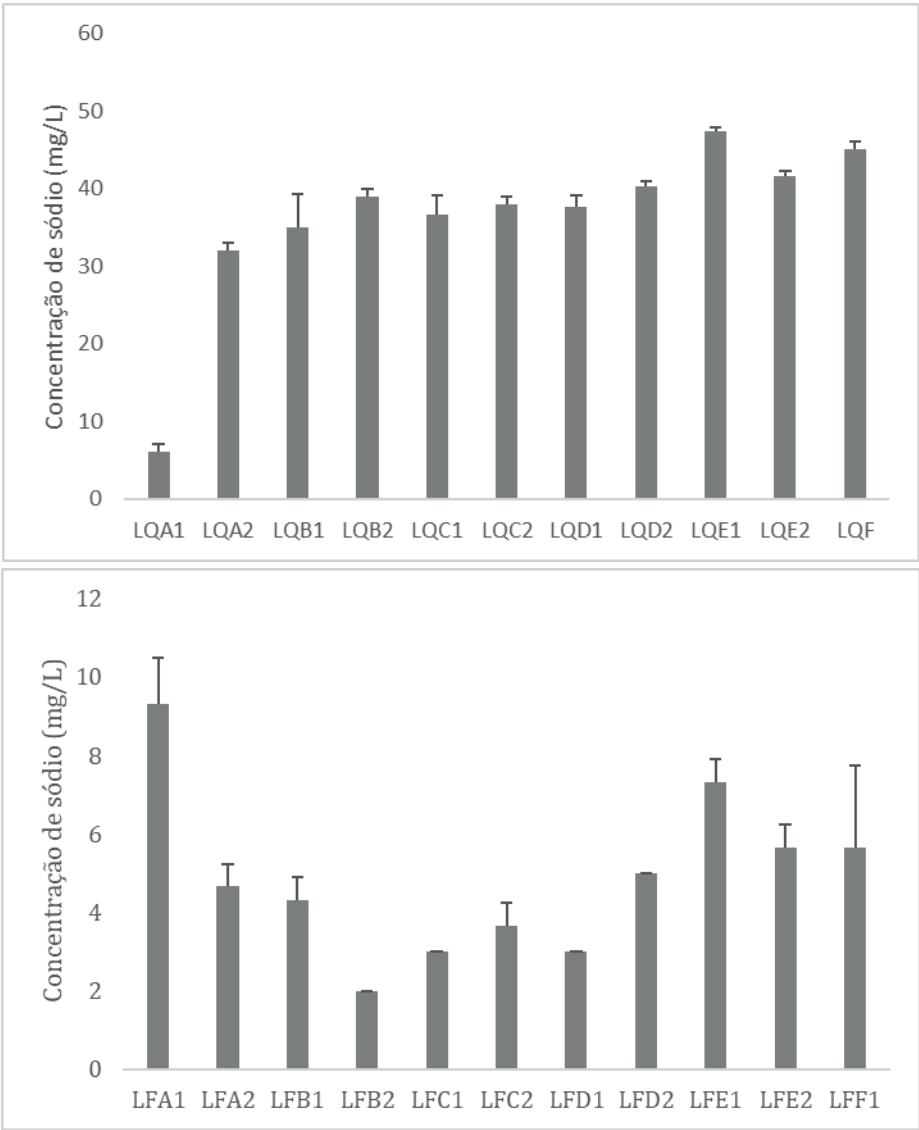
Fonte: Próprio autor (2025)

As maiores concentrações de vitamina C (ácido ascórbico) no extrato a frio evidenciam a termossensibilidade e a instabilidade do composto. Enquanto a extração a frio preserva a molécula, diminuindo a cinética de degradação e permitindo sua solubilização e quantificação na forma ativa e redutora, a extração a quente promove a oxidação e decomposição térmica acelerada do ácido ascórbico em subprodutos inativos, como o ácido dihidroascórbico (DAMORADAN

et al., 2017). Alguns estudos indicam, como no caso das antocianinas, a avaliação da cinética de degradação da vitamina C em alimentos processados.

Os resultados obtidos para a determinação de sódio nos extratos a quente e a frio das amostras de café de açai estão apresentados na Figura 3.

Figura 3. Resultados obtidos (média $\pm$ desvio padrão, mg/L) da concentração de sódio nos procedimentos de extração a quente e a frio, em dois lotes de seis amostras de café de açai.



Fonte: Próprio autor (2025).

Com exceção da amostra A, lote 1, as maiores concentrações de sódio foram quantificadas no extrato a quente. Esta exceção pode ter sido causada por um erro sistemático na leitura potenciométrica do equipamento.

O comportamento, em que o extrato a quente apresentou teores de sódio mais elevados do que o extrato a frio, é justificado pelos princípios físico-químicos da cinética de dissolução. A água quente possui maior energia cinética do que a água fria, o que aumenta a taxa de difusão das moléculas de água na matriz sólida do café de açaí. Assim, a eficiência de extração do sódio é maximizada em altas temperaturas, resultando em maior concentração final no extrato quente, mesmo que a leitura seja realizada após o resfriamento à temperatura ambiente.

Processos de extração por aquecimento tendem a aumentar o rendimento de compostos bioativos, sendo amplamente aplicados na obtenção de alimentos com propriedades funcionais (CHENG, 2023), enquanto a extração a frio preserva compostos termossensíveis, como ácidos e vitamina C (EMBRAPA, 2021; MATTIETTO *et al.*, 2024).

Desta forma, os resultados obtidos para pH, condutividade, acidez total titulável, compostos fenólicos totais, antocianinas totais e sódio não apenas caracterizam as diferentes formas de preparo do café de açaí, mas, sobretudo, atestam a elevada heterogeneidade e complexidade físico-química das amostras. Esta dispersão demonstra que o método de preparo atua como um fator modulador da composição química do “café” de açaí. Portanto, a escolha da técnica de extração é crucial, pois determina as características sensoriais, o perfil nutricional e o potencial bioativo da bebida final. A necessidade de padronização do processamento e a otimização dos métodos de preparo são as principais implicações práticas deste estudo para a exploração futura do “café” de açaí como alternativa funcional.

CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que o método de extração influencia diretamente os atributos avaliados, que apresentaram variação em sua composição físico-química entre as amostras, os lotes e os valores reportados na literatura. Os valores encontrados para compostos bioativos foram inferiores aos relatados em estudos com caroços processados sob condições

controladas, sugerindo a necessidade de melhorias nas etapas pós-colheita. Essa variabilidade pode impactar tanto a estabilidade química quanto a aceitação sensorial pelo consumidor.

A extração a frio manteve maior acidez e pH mais baixo, evidenciando a preservação dos ácidos orgânicos termossensíveis. Já a extração a quente proporcionou maior liberação de compostos fenólicos e de antocianinas. Isto pode ser atribuído aos diferentes tipos de matérias-primas e às combinações empregadas na produção, bem como aos métodos de extração utilizados na obtenção destes produtos. Com isso, torna-se relevante a padronização da produção destas bebidas por meio de um padrão de identidade e qualidade. Além disso, o café de açaí apresenta potencial promissor tanto em aspectos ambientais quanto em benefícios à saúde, mas depende de avanços científicos e tecnológicos que assegurem maior qualidade, segurança e uniformidade para o consumidor.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEMAT pelas bolsas de iniciação científica concedidas aos discentes B.B.K. e J.G.N., e ao IFMT pelo fomento de taxa de bancada referente ao Edital nº 97/2024 (PROPE/IFMT).

REFERÊNCIAS

- ALVES, S. T. *et al.* Metodologia para análise simultânea de ácido nicotínico, trigonelina, ácido clorogênico e cafeína em café torrado por cromatografia líquida de alta eficiência. **Química Nova**, [s. l.], v. 29, n. 6, p. 1199-1203, 2006.
- AMORIM, M. *et al.* Alimentos funcionais e saúde: uma revisão. **Publica-IFRS: Boletim de Pesquisa e Inovação**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 84-92, 2023.
- ANTONY, A.; FARID, M. Effect of temperatures on polyphenols during extraction. **Applied Sciences**, [s. l.], v. 12, n. 5, p. 2107, 2022.
- BANERJEE, S.; CHATTERJEE, J. Efficient extraction strategies of tea (*Camellia sinensis*) biomolecules. **Journal of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 52, n. 6, p. 3158-3168, 2015.

BARROS, S. K. A. *et al.* Preparation of fresh gluten free pasta enriched with açai waste flour (*Euterpe oleracea* Mart.) and bacaba (*Oenocarpus bacaba* Mart.). **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 10, n. 6, p. e1810613722, 2021.

BARRETO, M. R.; CAVALHEIRO, L. Núcleo de Estudos da Biodiversidade da Amazônia Mato-Grossense (NEBAM): 12 anos disseminando informações científicas e democratizando o conhecimento. **Multitemas**, Campo Grande, v. 21, n. 59, p. 99-112, 2020.

BERGAMO, D. *et al.* The Amazon bioeconomy: Beyond the use of forest products. **Ecological Economics**, [s. l.], v. 199, p. 107448, 2022.

BITWELL, C. *et al.* A review of modern and conventional extraction techniques and their applications for extracting phytochemicals from plants. **Scientific African**, [s. l.], v. 19, p. e01585, 2023.

CARAUTA, M. *et al.* Climate-related land use policies in Brazil: how much has been achieved with economic incentives in agriculture? **Land Use Policy**, [s. l.], v. 109, p. 105618, 2021.

CAVALCANTI, R. N. *et al.* Predicting dielectric properties of fruit juices at 915 and 2450 MHz using machine learning and physicochemical measurements. **Measurement: Food**, [s. l.], v. 14, p. 100158, 2024.

CHENG, Y.; XUE, F.; YANG, Y. Hot Water Extraction of Antioxidants from Tea Leaves – Optimization of Brewing Conditions for Preparing Antioxidant-Rich Tea Drinks. **Molecules**, [s. l.], v. 28, n. 7, p. 3030, 2023.

CHAVES, D. F. S. **Compostos bioativos dos alimentos**. São Paulo: Valéria Paschoal Editora, 2015.

COSTA, N. C. *et al.* Caracterização físico-química do caroço de açai (*Euterpe oleracea* Mart.) torrado destinado à produção de uma bebida quente. In: VERRUCK, S. (org.). **Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos**: Volume 2. Guarujá: Crossref, 2023. cap. 5, p. 73-82.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Fennema's Food Chemistry**. 5. ed. Boca Raton: CRC Press, 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Aspectos nutricionais**. [Brasília, DF]: Embrapa, [2024?]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/acai/pos-producao/processamento/aspectos-nutricionais>. Acesso em: 13 maio 2024.

FERNANDES, L. S. *et al.* Aproveitamento da semente de açai para produção de bebida à base de café. **Revista Engenharia na Agricultura - REVENG**, Viçosa, MG, v. 19, n. 6, p. 510-515, 2021.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. **ExpDes.pt**: Pacote Experimental Designs (Português). R package version 1.2.2, 2014. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=ExpDes.pt>. Acesso em: 12 maio 2024.

FIRMINO, L. A.; MIRANDA, M. P. S. Polifenóis totais e flavanoides em amostras de chá verde (*Camellia sinensis* L.) de diferentes marcas comercializadas na cidade de Salvador-BA. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Campinas, v. 17, n. 3, p. 436-443, 2015.

FREITAS, A. S. *et al.* Freeze-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) pulp ingestion improves biochemical and functional parameters in humans. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, Ribeirão Preto, v. 51, n. 6, p. e7235, 2018.

FULEKI, T.; FRANCIS, F. J. Quantitative methods for anthocyanins: 1. Extraction and determination of total anthocyanin in cranberries. **Journal of Food Science**, [s. l.], v. 33, p. 72-77, 1968.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (IAL). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. Brasília, DF: ANVISA, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção de açaí (cultivo)**. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/acai-cultivo/br>. Acesso em: 11 out. 2025.

INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA (IPAM). **A importância das florestas em pé**. [S. l.]: IPAM, 2024. Disponível em: <https://ipam.org.br/cartilhas-ipam/a-importancia-das-florestas-em-pe/>. Acesso em: 13 maio 2024.

JAMOVI PROJECT. **jamovi** (Version 2.5) [Computer Software]. 2024. Disponível em: <https://www.jamovi.org>. Acesso em: 23 out. 2025.

KRIS-ETHERTON, P. M. *et al.* Bioactive compounds in foods: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer. **The American Journal of Medicine**, [s. l.], v. 113, n. 9, p. 71-88, 2002.

LEÃO, M.; OLIVEIRA, L.; MACHADO, M. M. Avaliação da eficiência de extração dos polifenóis de amostras de chá através de métodos domésticos. **Revista Eletrônica de Farmácia**, Goiânia, v. 13, n. 2, p. 82-88, 2016.

LEES, D. H.; FRANCIS, F. J. Standardization of pigment analyses in cranberries. **HortScience**, [s. l.], v. 7, p. 83-84, 1972.

LE MOS, F. M. F. C. **Café de açaí: um estudo etnofarmacológico e terapêutico**. 2024. 125 f. Tese (Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2024.

LIMA, A. J. B. *et al.* Anthocyanins, pigment stability and antioxidant activity in jaboticaba [*Myrciaria cauliflora* (Mart.) O. Berg]. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 3, p. 877-887, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Portaria SPA/MAPA nº 5, de 20 de fevereiro de 2024. Aprova o Zoneamento Agrícola de Risco Climático - ZARC para a cultura do açaí [...]. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 39, p. 7, 27 fev. 2024.

MIRANDA, L. V. A. *et al.* Descarte e destino final de caroços de açaí na Amazônia Oriental – Brasil. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 25, p. e01382, 2022.

NARITA, I. M. P. *et al.* In vitro bioaccessibility of carotenoids and phenolic compounds and antioxidant capacity of pequi fruit (*Caryocar brasiliense* Camb.) flours. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 25, p. e2021068, 2022.

NUNES, J. R. S.; SILVA, C. J.; FERRAZ, L. Mato Grosso e seus biomas: biodiversidade, desafios socioambientais, unidades de conservação e iniciativas de políticas públicas e privadas para a conservação. **Revista Gestão Universitária**, [s. l.], v. 7, p. 1-28, 2017.

PACHECO-PALENCIA, L. A.; MERTENS-TALCOTT, S.; TALCOTT, S. T. Chemical composition, antioxidant properties, and thermal stability of a phytochemical enriched oil from açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], v. 56, n. 12, p. 4631-4636, 2008.

PAES-DE-SOUZA, M. *et al.* O produto florestal não madeirável (PFNM) amazônico açaí nativo: proposição de uma organização social baseada na lógica de cadeia e rede para potencializar a exploração local. **Revista de Administração e Negócios da Amazônia**, [s. l.], v. 3, n. 2, p. 44-57, 2011.

POLJSAK, B.; KOVAČ, V.; MILISAV, I. Antioxidants, food processing and health. **Antioxidants**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 433, 2021.

RAO, N. Z.; FULLER, M. Acidity and antioxidant activity of cold brew coffee. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 1-8, 2018.

SCHAUSS, A. G. *et al.* Phytochemical and nutrient composition of the freeze-dried Amazonian palm berry, *Euterpe oleracea* Mart. (açai). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], v. 54, n. 22, p. 8598–8603, 2006.

SEIXAS, L. S.; DA SILVA JUNIOR, L. S. Aplicação de métodos de análise físico-química para avaliação de cafés descafeinados. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 6, p. 63869–63882, 2021.

SILVA, A. C. **A Etnofarmacologia na Amazônia**: um estudo de caso nas comunidades São Francisco e São José sobre o uso de plantas medicinais no município de Careiro Da Várzea Amazonas. 2024. 124 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2024.

SILVA, T. O. M. **Compostos voláteis, perfil de aroma, de ácidos graxos e potencial antioxidante de óleo extraído por prensagem a frio de resíduo agroindustrial de açai (Euterpe oleracea Mart.)**. 2017. 149 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2017.

MATTIETTO, R. *et al.* Chemical composition and seasonal variations in açai as it is consumed in the Brazilian Amazon: Chemical composition and seasonal variations of açai. **Científica**, Jaboticabal, v. 52, p. 1-17, 2024.

SOUZA, M. O. *et al.* Composição e valor nutricional do açai (*Euterpe oleracea* Mart.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 42, n. 4, p. e-860, 2020.

SKOOG, D. A. *et al.* **Fundamentos de Química Analítica**. Tradução da 9. ed. norte-americana. São Paulo: Cengage Learning, 2015.

TRINDADE, G. O. *et al.* Doseamento de polifenóis em diferentes extratos das inflorescências de achyrocline satureioides. *In*: SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO - SIEPE, 10., 2018, Santana do Livramento. **Anais [...]**. Santana do Livramento: Unipampa, 2018.

FUNDAMENTOS DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS: BASES CONCEITUAIS PARA FORMAÇÃO DE LICENCIANDOS EM QUÍMICA

Evelyn Ivana Trindade Damasceno Alves

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará - Campus Belém

RESUMO

A Ciência e Tecnologia de Alimentos integra conhecimentos da química, bioquímica, microbiologia e engenharia para compreender a estabilidade, transformação e qualidade dos alimentos. Os sistemas alimentares são multifásicos e dinâmicos, resultando de interações moleculares que definem textura, viscosidade, estrutura de géis, emulsões e espumas, além de processos físico-químicos e microbiológicos que influenciam deterioração, segurança e vida útil. O estudo da composição, da atividade de água, do pH, das propriedades de carboidratos, proteínas e lipídios e dos mecanismos de degradação química e microbiana é essencial para interpretar o comportamento dos alimentos. A engenharia complementa esse domínio ao explicar como operações de processamento alteram temperatura, estrutura e estabilidade. Para licenciandos em Química, a área oferece oportunidades para relacionar conceitos abstratos a situações reais, promover aprendizagem contextualizada e desenvolver competências científicas ligadas à análise, ao controle e à compreensão de fenômenos alimentares. A articulação entre ciência, tecnologia e sociedade amplia ainda mais a relevância da área para a formação docente. Este capítulo apresenta os fundamentos que sustentam essa interface e prepara o leitor para temas avançados como microbiologia industrial, fermentações e operações unitárias.

Palavras-chave: Ciência de Alimentos; Estabilidade; Propriedades Físico-Químicas; Ensino de Química; Segurança Alimentar.

INTRODUÇÃO

O estudo científico dos alimentos consolidou-se ao longo do século XX, impulsionado pelo desenvolvimento simultâneo da química orgânica e físico-química, da microbiologia e da engenharia de processos, que passaram a explicar de maneira integrada as transformações que ocorrem em sistemas alimentares (SILVA; MONTEIRO, 2023). Embora práticas culinárias tradicionais como a cocção, fermentação, salga, defumação utilizem princípios químicos há milênios, somente com a consolidação de métodos analíticos modernos, como cromatografia, espectroscopia e técnicas térmicas, tornou-se possível compreender tais fenômenos em detalhe molecular (DAMODARAN; PARKIN, 2021). Essa evolução permitiu desvendar mecanismos complexos, como desnaturação proteica, transições de fase, reações de escurecimento não enzimático, gelatinização do amido e oxidação lipídica, transformando o alimento em objeto legítimo de investigação científica.

No cenário contemporâneo, a Ciência de Alimentos extrapola a compreensão dos processos químicos básicos e se articula como campo interdisciplinar, integrando fundamentos de termodinâmica, cinética química, química coloidal, bioquímica, microbiologia e engenharia para explicar fenômenos estruturais, reológicos e sensoriais em sistemas multifásicos e frequentemente instáveis (BONILLA; SOBRAL; MENEGALLI, 2021). A crescente complexidade dos alimentos industrializados, a demanda por produtos com maior vida útil e perfil nutricional adequado, e o avanço das tecnologias emergentes como alta pressão hidrostática, ultrassom, irradiação e modelagem computacional, ampliaram ainda mais o escopo da área (AGGARWAL; GARCÍA, 2022).

Para estudantes de licenciatura em Química, esse campo representa um espaço privilegiado de articulação entre teoria e prática. Alimentos constituem matrizes didáticas potentes porque permitem visualizar, de modo concreto, conceitos tradicionalmente abstratos como ligações químicas, interações intermoleculares, equilíbrio ácido-base, cinética de reações, propriedades coligativas e mudanças de fase. Como argumentam Freire e Almeida (2022), trabalhar conteúdos de química a partir de alimentos favorece aprendizagens significativas ao conectar fenômenos cotidianos à linguagem formal da ciência, estimulando a construção de modelos mentais consistentes.

Além da dimensão química, a Ciência de Alimentos oferece oportunidades de abordar temas sociais e tecnológicos contemporâneos, tais como segurança alimentar, rotulagem nutricional, limites de contaminantes, qualidade microbiológica, impactos ambientais, sustentabilidade e inovação industrial. Esses temas permitem integrar discussões sobre ciência, tecnologia e sociedade (CTS), essenciais para a formação crítica do futuro professor, que deve ser capaz de contextualizar a Química na vida cotidiana e no debate público (GARCIA; SANTANA, 2021).

Nesse sentido, aprofundar os fundamentos estruturantes da área como composição, estabilidade, interações moleculares, deterioração, microbiologia e operações de processamento torna-se essencial para capacitar o licenciando a interpretar alimentos como sistemas químicos reais e complexos. Diante disso, este artigo inaugura uma série dedicada a explorar conteúdos essenciais da Ciência e Tecnologia de Alimentos, com foco na formação de professores de Química, articulando rigor conceitual, exemplos aplicados e perspectivas didáticas.

COMPOSIÇÃO DOS ALIMENTOS E IMPLICAÇÕES TECNOLÓGICAS

A Ciência de Alimentos caracteriza-se por uma natureza intrinsecamente interdisciplinar, na qual diferentes campos do conhecimento se articulam para compreender fenômenos que emergem da complexidade estrutural e funcional dos alimentos. Essa interdisciplinaridade não é decorativa, mas constitutiva, visto que os alimentos se comportam como sistemas heterogêneos, multifásicos e dinamicamente instáveis, cujo comportamento depende da interação simultânea entre componentes moleculares, microrganismos e processos tecnológicos (BONILLA; SOBRAL; MENEGALLI, 2021; TORRES; VILLAR, 2022). Em outras palavras, compreender um alimento exige o diálogo entre química, bioquímica, microbiologia, engenharia, física e até ciências sociais, já que produção, consumo e regulação também influenciam as práticas tecnológicas e os atributos do produto.

A estrutura de um alimento resulta de fenômenos que ocorrem em múltiplas escalas. Na escala molecular, proteínas, carboidratos, lipídios, minerais e água organizam-se em arranjos supramoleculares extremamente sensíveis a mudanças físico-químicas. Na escala microbiológica, populações microbianas

alteram o alimento ao metabolizar nutrientes, gerar compostos voláteis e modificar pH e atividade de água (JAY; LOESSNER; GOLDEN, 2021). Já na escala tecnológica, operações unitárias modificam energia interna, organização das fases e propriedades sensoriais. Um produto tão cotidiano quanto o iogurte é, portanto, resultado de transformações bioquímicas induzidas por microrganismos, da desnaturação térmica de proteínas, da formação de uma rede proteica tridimensional e da manipulação controlada de parâmetros como temperatura, pH e tempo (DAMODARAN; PARKIN, 2021; AGGARWAL; GARCÍA, 2022).

Do ponto de vista da química molecular, propriedades como textura, viscosidade, elasticidade, crocância, cremosidade e estabilidade dependem de interações intermoleculares altamente organizadas. Ligação de hidrogênio, interações hidrofóbicas, forças de Van der Waals e pontes dissulfeto moldam a estrutura de géis, emulsões, espumas e dispersões (DAMODARAN; PARKIN, 2021). Por exemplo, a estabilidade de emulsões alimentícias (maioneses ou molhos cremosos) depende de agentes emulsificantes que reduzem a tensão interfacial entre fases lipídicas e aquosas, fenômeno frequentemente modelado pela físico-química de interfaces. Pequenas variações de pH, força iônica ou temperatura promovem alterações significativas nessas estruturas, resultando em sinérese, separação de fases ou coagulação proteica, demonstrando a natureza não linear desses sistemas.

A microbiologia acrescenta uma camada adicional de complexidade. Microrganismos não apenas deterioram alimentos: eles estruturam e transformam sua matriz, como observado em fermentações lácticas, alcoólicas e acéticas, nas quais o metabolismo microbiano modifica composição, aroma, textura e estabilidade (JAY; LOESSNER; GOLDEN, 2021; GARCÍA *et al.*, 2023). Em queijos, por exemplo, comunidades microbianas formam verdadeiros “ecossistemas alimentares”, nos quais bactérias e fungos interagem metabolicamente para gerar compostos aromáticos, pigmentos e características sensoriais específicas. Estudos recentes mostram que microbiomas alimentares respondem a fatores intrínsecos (pH, aw, composição química) e extrínsecos (temperatura, atmosfera, processamento), configurando sistemas complexos auto-organizados (GARCÍA *et al.*, 2023).

No campo da engenharia, operações unitárias como pasteurização, evaporação, difusão osmótica, resfriamento, extrusão, homogeneização e secagem

são fundamentadas em conceitos avançados de termodinâmica, transferência de calor e massa e cinética química (TORRES; VILLAR, 2022). A pasteurização, por exemplo, requer o entendimento das curvas de resistência térmica de microrganismos (valores D e Z), enquanto a extrusão depende de propriedades reológicas de misturas alimentares e da física de polímeros sob altas pressões e temperaturas. Até mesmo processos aparentemente simples, como resfriamento rápido, alteram a cristalização de lipídios, a retrogradação do amido e a estabilidade de géis, mostrando como variações de gradientes energéticos influenciam comportamentos estruturais.

Essa integração entre química, microbiologia e engenharia é fortemente permeada por dimensões sociais e regulatórias. A produção de alimentos no Brasil e no mundo opera sob legislações rigorosas que definem padrões microbiológicos, limites de contaminantes, rotulagem nutricional, alegações de saúde e requisitos tecnológicos específicos. Normas como a RDC nº 331/2019, que define padrões microbiológicos, e a RDC nº 429/2020, que estabelece diretrizes para rotulagem nutricional, interferem diretamente na formulação de produtos, na escolha de tecnologias e no controle de qualidade (BRASIL, ANVISA, 2019; 2020). Pesquisas recentes apontam que regulamentações moldam não apenas a segurança dos alimentos, mas também tendências de inovação, reformulação de produtos e estratégias industriais de sustentabilidade (AGGARWAL; GARCÍA, 2022; LIU; WANG; ZHOU, 2023).

Para o licenciando em Química, compreender essa interdisciplinaridade vai além do domínio técnico: ela desempenha papel formativo essencial. A Ciência de Alimentos oferece ao futuro professor oportunidades ímpares de articular conceitos químicos abstratos com aplicações concretas, próximas do cotidiano dos estudantes. Ao investigar alimentos, o licenciando pode explorar representações microscópicas, macroscópicas e simbólicas da química, promover alfabetização científica, discutir segurança alimentar, avaliar impactos socioambientais e utilizar experimentação acessível como recurso pedagógico (FREIRE; ALMEIDA, 2022). Assim, estudar alimentos significa estudar a própria interface entre ciência, tecnologia e sociedade e, conseqüentemente, ampliar a capacidade docente de promover aprendizagem crítica e contextualizada.

Água e atividade de água

A estabilidade dos alimentos está diretamente relacionada à atividade de água (a_w), parâmetro que expressa a disponibilidade da água para participar de reações químicas e para permitir o crescimento microbiano. Como destacam García e Santana (2021), a a_w é um dos fatores mais determinantes da vida de prateleira, porque regula simultaneamente:

- a taxa das reações químicas, especialmente escurecimento não enzimático e oxidação;
- a velocidade de crescimento microbiano, que depende de limites mínimos de a_w para cada espécie;
- a migração de água entre fases, influenciando textura e estabilidade;
- características sensoriais como crocância, maciez e viscosidade.

Enquanto o teor de água reflete apenas a quantidade total de água presente no alimento, a a_w expressa sua energia livre, ou seja, o quanto dessa água está disponível para interagir com solutos ou microrganismos (TORRES; VILLAR, 2022). É um conceito derivado da termodinâmica das soluções, e está relacionado à pressão de vapor da água no alimento em equilíbrio com o ambiente.

Assim, alimentos com elevado teor de água podem apresentar baixa a_w como é o caso de geleias altamente açucaradas, onde a água é fortemente ligada por moléculas de sacarose. Por outro lado, produtos com teor moderado de umidade, como pães, frequentemente possuem alta a_w , tornando-se mais suscetíveis à deterioração microbiana.

Essa aparente contradição e muito ensinada na área de Ciência de Alimentos evidencia que não é a quantidade de água, mas sua disponibilidade molecular, que determina estabilidade. Estudos recentes reforçam que pequenas reduções em a_w podem resultar em grandes aumentos de estabilidade oxidativa e microbiológica, razão pela qual técnicas como secagem, adição de solutos, liofilização e uso de filmes comestíveis têm ganhado destaque (MENDONZA; VILLAMIZAR, 2023).

Exemplos aplicados:

- Biscoitos e snacks precisam de aw extremamente baixa (0,20–0,30) para manter crocância.
- Produtos cárneos cozidos exigem redução de aw combinada com refrigeração devido ao risco microbiológico.
- Frutas desidratadas apresentam aw controlada entre 0,45 e 0,65 para evitar endurecimento ou crescimento fúngico.

Carboidratos

Os carboidratos exercem funções essenciais na estrutura dos alimentos, influenciando textura, viscosidade, estabilidade e formação de géis. Amidos, pectinas, hemiceluloses e açúcares simples atuam como moduladores das propriedades físicas, participando de fenômenos como gelatinização, gelificação e retrogradação.

A gelatinização do amido, como explicam Pereira e Soares (2020), envolve a ruptura de ligações de hidrogênio que mantêm a estrutura semicristalina dos grânulos. Ao serem aquecidos na presença de água, amilose e amilopectina absorvem líquido, incham e aumentam dramaticamente a viscosidade sendo um fenômeno fundamental em molhos, pães, bolos e sobremesas.

Após o resfriamento, ocorre a retrogradação, processo no qual a amilose se reorganiza em estruturas mais ordenadas. Esse fenômeno está associado ao endurecimento do pão (staling), sendo uma das causas mais estudadas de perda de qualidade em panificados (ZHOU; LIM; LEE, 2022).

Outro fenômeno amplamente relevante é a reação de Maillard, que surge da interação entre açúcares redutores e aminoácidos. Essa reação é central não apenas pela formação de pigmentos e aromas desejáveis, mas também por gerar compostos antioxidantes e, em excesso, potenciais contaminantes como acrilamida (WANG; ZHANG, 2021). Por isso, estudos recentes buscam modelar a Maillard de forma a maximizar atributos sensoriais e minimizar riscos químicos.

Exemplos aplicados:

- Em doces em pasta, açúcares atuam como redutores de aw, contribuindo para conservação.

- Em geleias, a combinação de pectina, açúcar e acidez determina o ponto de gelificação.
- Em pães, a gelatinização do amido e a interação com glúten definem elasticidade e volume.

Proteínas

As proteínas presentes nos alimentos são responsáveis por uma ampla gama de funcionalidades: emulsificação, espessamento, formação de géis, retenção de água e estabilização de espumas. Essas propriedades derivam da estrutura tridimensional das proteínas e de sua sensibilidade a fatores como pH, temperatura e força iônica (DAMODARAN; PARKIN, 2021).

A desnaturação proteica é um processo no qual as estruturas secundária e terciária são alteradas e desempenha papel decisivo na formação da textura de queijos, carnes cozidas, ovos e derivados lácteos. Ela pode ser induzida por calor, alterações de pH, solventes ou ação mecânica. Em queijos, por exemplo, a desnaturação parcial e a coagulação das caseínas formam uma rede que aprisiona gordura e água, resultando em diferentes texturas conforme o tipo e o processo de maturação (SANTOS; RAMALHO; PACHECO, 2023).

A coagulação, etapa subsequente, implica formação de novas interações intermoleculares, sobretudo pontes dissulfeto e ligações hidrofóbicas. Esse processo determina firmeza, elasticidade e sinérese, sendo crítico para a produção de iogurtes e sobremesas lácteas.

Em carnes, proteínas miofibrilares e sarcoplasmáticas respondem de maneiras específicas ao aquecimento, influenciando suculência, força de corte e retenção de água. Estudos recentes têm mostrado que técnicas de cozimento em baixa temperatura promovem desnaturação controlada, melhorando a textura e reduzindo perdas de umidade (KIM; LEE; PARK, 2022).

Lipídios

Os lipídios desempenham funções sensoriais fundamentais: contribuem para cremosidade, aroma, firmeza e liberação de sabor. Estruturalmente, participam de emulsões, redes cristalinas e interações hidrofóbicas.

A principal forma de deterioração lipídica é a oxidação, uma reação radicalar complexa dividida em etapas de iniciação, propagação e terminação. Como destacam Wang e Zhang (2021), a oxidação lipídica:

- degrada compostos aromáticos positivos,
- produz aldeídos voláteis indesejáveis,
- afeta textura e cor,
- reduz vida útil,
- compromete qualidade nutricional.

A suscetibilidade dos lipídios depende de sua composição: ácidos graxos insaturados oxidam mais rapidamente, devido à presença de duplas ligações reativas. Fatores como luz, oxigênio, calor, metais de transição (Fe^{2+} , Cu^{2+}) e a ausência de antioxidantes naturais aceleram a deterioração (LOPES; HERNANDES, 2023).

Em produtos como margarinas, chocolates e embutidos, a cristalização lipídica define textura, ponto de fusão, dureza e sensação na boca. Pequenas variações na temperatura de resfriamento alteram o polimorfismo de cristais, resultando em produtos mais duros, quebradiços ou cremosos (MARTINS; FARIAS; OLIVEIRA, 2024).

Exemplos aplicados:

- Chocolates dependem da formação da fase βV para boa textura e brilho.
- Carnes armazenadas sob refrigeração apresentam oxidação aumentada conforme a concentração de oxigênio na embalagem.
- Leites e queijos tendem à lipólise quando lipases microbianas estão presentes.

FATORES DETERMINANTES DA QUALIDADE E DA ESTABILIDADE

A qualidade e a estabilidade dos alimentos resultam da interação entre fatores intrínsecos e extrínsecos que modulam tanto a velocidade quanto o tipo de transformações químicas, físicas e microbiológicas que ocorrem ao longo do tempo. A compreensão dessas variáveis é essencial não apenas para prever o comportamento da matriz alimentar, mas também para orientar a formulação, o processamento e o armazenamento de produtos de maneira racional e cientificamente fundamentada. Estudos recentes reforçam que a estabilidade de um alimento emerge de uma combinação complexa entre composição, estrutura supramolecular, atividade de água, condições de processamento e ambiente de estocagem (AGGARWAL; GARCÍA, 2022; TORRES; VILLAR, 2022).

Fatores intrínsecos

Os fatores intrínsecos decorrem das características próprias do alimento, de sua composição química e estrutura físico-química.

pH

O pH é um dos parâmetros mais determinantes para a estabilidade, pois regula o metabolismo microbiano, a velocidade de reações químicas e a atividade de enzimas endógenas ou microbianas. Microrganismos deteriorantes possuem faixas de crescimento estreitas, e pequenas mudanças no pH podem acelerar ou impedir sua multiplicação (JAY; LOESSNER; GOLDEN, 2021). Além disso, pigmentos, proteínas e carboidratos apresentam diferentes comportamentos estruturais em função da acidez, influenciando cor, textura e retenção de água.

Atividade de água (aw)

A atividade de água (aw) determina a fração da água disponível para reações químicas e crescimento microbiano. A degradação oxidativa de lipídios, a hidrólise de polissacarídeos, a desnaturação proteica e o escurecimento não enzimático são modulados pela aw (GARCIA; SANTANA, 2021). Estudos

recentes mostram que alimentos com aw intermediária (0,60–0,80) apresentam deterioração acelerada devido à otimização simultânea da mobilidade molecular e das reações químicas.

Composição e propriedades supramoleculares

A composição define as propriedades reológicas, sensoriais e funcionais de um alimento. Teores e tipos de proteínas, amidos, lipídios, fibras e solutos influenciam viscosidade, elasticidade, estrutura de géis e formação de emulsões (BONILLA; SOBRAL; MENEGALLI, 2021). Essas características estruturais modulam a difusão de oxigênio, água e enzimas, impactando diretamente a estabilidade. A exemplo disso cita-se a retrogradação do amido que aumenta a firmeza de pães armazenados e reduz sua vida de prateleira, assim como a cristalização parcial de lipídios que determina a textura de chocolates e produtos cárneos.

Potencial redox (Eh)

O potencial redox condiciona o crescimento de microrganismos anaeróbios e a velocidade de reações de oxirredução. Carnes frescas, por exemplo, apresentam instabilidade colorimétrica devido à oxidação da mioglobina — fenômeno afetado tanto pelo Eh quanto pela disponibilidade de oxigênio (WANG; ZHANG, 2021).

Fatores extrínsecos

Os fatores extrínsecos referem-se ao ambiente ao qual o alimento é exposto durante processamento, distribuição e estocagem. Eles podem acelerar ou retardar significativamente a deterioração.

Temperatura

A temperatura é o fator extrínseco de maior impacto. Reações químicas e a multiplicação microbiana aumentam exponencialmente com a elevação térmica, conforme descrito pela equação de Arrhenius. Uma redução de apenas

10 °C na estocagem pode reduzir a constante de velocidade de deterioração em até 50% (WANG; ZHANG, 2021).

Atmosfera de armazenamento

O uso de atmosferas modificadas (CO₂, N₂ ou O₂ controlado) influencia a estabilidade oxidativa e microbiológica. O CO₂, por exemplo, inibe bactérias deteriorantes, enquanto atmosferas pobres em oxigênio reduzem oxidantes e preservam pigmentos sensíveis à oxidação (AGGARWAL; GARCÍA, 2022).

Umidade relativa

A umidade influencia a migração de água dentro do alimento e entre o alimento e o ambiente. Flutuações podem causar murchamento, perda de crocância, recristalização de açúcares e falhas estruturais.

Contaminação cruzada

Falhas em higiene e manipulação introduzem microrganismos que aceleram deterioração e comprometem segurança. Estudos recentes evidenciam que biofilmes em superfícies industriais aumentam a resistência microbiana e elevam o risco de contaminação (SILVA; MONTEIRO, 2023).

Cinética e modelos de deterioração

A deterioração dos alimentos segue padrões cinéticos que podem ser modelados matematicamente. Essas modelagens permitem prever vida de prateleira e otimizar processos industriais.

Deterioração química

Reações como oxidação lipídica, degradação de carotenoides e escurecimento não enzimático geralmente seguem cinética de primeira ordem, embora modelos complexos sejam necessários em sistemas com múltiplas fases ou solutos (GARCIA; SANTANA, 2021).

Deterioração microbiológica

A deterioração microbiológica resulta da multiplicação de microrganismos deteriorantes e, em alguns casos, patogênicos. O comportamento dessas populações ao longo do tempo pode ser descrito por modelos matemáticos amplamente utilizados na área de alimentos, como os modelos Logístico, Gompertz e Baranyi, que representam de forma mais precisa as diferentes fases do crescimento microbiano em condições reais de processamento e estocagem.

Esses modelos ajudam a prever como e quando ocorre a deterioração, pois permitem analisar o impacto dos fatores intrínsecos (pH, atividade de água, composição, potencial redox) e extrínsecos (temperatura, atmosfera, umidade, manipulação) sobre três aspectos fundamentais:

- a taxa de crescimento microbiano, que define a velocidade com que a população aumenta;
- a duração da fase lag, período inicial de adaptação do microrganismo ao alimento, que pode ser reduzido ou prolongado dependendo das condições ambientais;
- a produção de metabólitos indesejáveis, como ácidos, aminas biogênicas, compostos sulfurados e voláteis, responsáveis por odores, sabores desagradáveis e alterações de textura.

Assim, compreender a deterioração microbiológica envolve não apenas identificar o microrganismo presente, mas também reconhecer como os parâmetros físico-químicos do alimento influenciam seu comportamento ao longo do tempo. Essa abordagem integrada permite prever vida de prateleira, ajustar condições de armazenamento e desenvolver estratégias de controle mais eficazes.

Aplicação no ensino

A utilização desses modelos permite explorar conceitos fundamentais de cinética química com exemplos reais e acessíveis, tais como:

- o escurecimento de frutas cortadas;

- a perda de cor em vegetais verdes;
- a velocidade de crescimento microbiano em leite mantido em diferentes temperaturas.

PRINCÍPIOS DO PROCESSAMENTO DE ALIMENTOS

O processamento é essencial para controlar a deterioração e garantir segurança alimentar. Ele se apoia em princípios físico-químicos básicos como calor, pressão, difusão, ação mecânica e transformações estruturais mas se traduz em tecnologias sofisticadas e variadas.

Processos térmicos

Processos térmicos como pasteurização, branqueamento e esterilização destinam-se a reduzir ou eliminar microrganismos deteriorantes e patógenos. O desenho desses processos exige conhecer:

- resistência térmica microbiana (curvas D e z),
- composição do alimento,
- influência da temperatura na qualidade sensorial (JAY; LOESSNER; GOLDEN, 2021).

Exemplos aplicados:

- Leite pasteurizado preserva enzimas e vitaminas sensíveis ao calor.
- Vegetais branqueados mantêm cor verde devido à inativação rápida da clorofilase.

Processos não térmicos

Tecnologias emergentes têm sido intensamente estudadas por seu potencial em preservar nutrientes sensíveis ao calor.

Exemplos:

- Alta pressão hidrostática (HPP): destrói microrganismos por desnaturação de membranas sem elevar a temperatura (AGGARWAL; GARCÍA, 2022).
- Pulsed electric fields (PEF): rompe membranas celulares, útil para sucos.
- Ultrassom e irradiação: aplicáveis na inativação microbiana e na modificação de texturas.

Esses processos refletem a convergência entre química, física aplicada e biotecnologia industrial.

Processos tradicionais

Processos históricos ainda fundamentais na indústria alimentícia como salga, fermentação, desidratação e defumação baseiam-se em princípios físico-químicos simples, porém extremamente eficazes (SILVA; MONTEIRO, 2023).

Exemplos aplicados:

- Salga reduz atividade de água por osmose.
- Fermentação acidifica e estabiliza alimentos, além de desenvolver aromas.
- Desidratação remove água livre e prolonga vida útil.

IMPLICAÇÕES PARA A FORMAÇÃO DO LICENCIANDO EM QUÍMICA

Os alimentos, por sua natureza multifatorial, constituem instrumentos pedagógicos potentes. Ao trabalhar com eles, o licenciando tem oportunidade de:

- articular diferentes níveis de representação química;
- compreender fenômenos reais que envolvem cinética, equilíbrio e ligações químicas;
- contextualizar processos industriais;

- discutir segurança alimentar e legislação;
- explorar experimentação simples e acessível.

Essa abordagem favorece alfabetização científica e formação crítica, conectando o ensino de Química a temas atuais de saúde, consumo e sustentabilidade (FREIRE; ALMEIDA, 2022).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ampliação do capítulo evidencia a profundidade e complexidade da Ciência de Alimentos, reforçando seu papel estratégico na formação docente em Química e preparando terreno para capítulos posteriores de maior especificidade técnica.

REFERÊNCIAS

- AGGARWAL, S.; GARCÍA, E. Food matrices as chemical systems: molecular interactions and stability. *Food Chemistry*, Londres, v. 386, p. 132854, 2022.
- BONILLA, J.; SOBRAL, P.; MENEGALLI, F. Chemical and structural phenomena in food systems. *Journal of Food Engineering*, Amsterdã, v. 314, p. 110–125, 2021.
- BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução RDC nº 331, de 23 de dezembro de 2019. Dispõe sobre os padrões microbiológicos de alimentos e sua aplicação. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 26 dez. 2019.
- BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução RDC nº 429, de 8 de outubro de 2020. Dispõe sobre a rotulagem nutricional dos alimentos embalados. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 09 out. 2020.
- DAMODARAN, S.; PARKIN, K. *Fennema's Food Chemistry*. 5. ed. Boca Raton: CRC Press, 2021.
- FREIRE, M.; ALMEIDA, E. Interfaces entre química e ciência de alimentos: perspectivas para a formação docente. *Química Nova na Escola*, São Paulo, v. 44, n. 2, p. 202–215, 2022.
- GARCIA, C.; SANTANA, L. Thermodynamic perspectives on water activity in food systems. *Trends in Food Science & Technology*, Amsterdã, v. 118, p. 780–792, 2021.
- GARCÍA, M. *et al.* Food microbiomes and fermented foods: ecological interactions and quality attributes. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, Chicago, v. 22, n. 1, p. 145–170, 2023.
- JAY, J. M.; LOESSNER, M.; GOLDEN, D. A. *Modern Food Microbiology*. 9. ed. Nova York: Springer, 2021.

- KIM, S.; LEE, J.; PARK, H. Effects of low-temperature long-time cooking on meat proteins and texture. **Meat Science**, Amsterdã, v. 185, p. 108707, 2022.
- LIU, Y.; WANG, X.; ZHOU, L. Food regulation, reformulation and innovation: impacts of new labeling policies. **Food Policy**, Londres, v. 113, p. 102356, 2023.
- LOPES, R.; HERNANDES, A. Lipid oxidation in high-fat foods: mechanisms and control strategies. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Londres, v. 103, n. 5, p. 2501–2512, 2023.
- MARTINS, D.; FARIAS, P.; OLIVEIRA, R. Polymorphism and crystallization behavior of lipids in chocolate and confectionery products. **Food Structure**, Amsterdã, v. 33, p. 100305, 2024.
- MENDONZA, L.; VILLAMIZAR, J. Water activity control in dehydrated fruits: effects on quality and stability. **LWT – Food Science and Technology**, Amsterdã, v. 181, p. 114857, 2023.
- PEREIRA, L.; SOARES, C. Estrutura e propriedades dos alimentos: implicações tecnológicas. **Journal of Food Science and Technology**, Nova Déli, v. 57, n. 1, p. 221–230, 2020.
- SANTOS, M.; RAMALHO, V.; PACHECO, L. Functional properties of dairy proteins in cheese making: structure and texture relationships. **Dairy Science & Technology**, Paris, v. 103, n. 2, p. 89–112, 2023.
- SILVA, F.; MONTEIRO, A. Fundamentos da tecnologia de alimentos: uma revisão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 53, n. 4, p. e20220123, 2023.
- TORRES, R.; VILLAR, D. Physicochemical fundamentals of food processing. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, Chicago, v. 21, n. 3, p. 1580–1602, 2022.
- WANG, L.; ZHANG, Y. Degradation kinetics in food quality: a molecular perspective. **Food Biophysics**, Nova York, v. 17, n. 2, p. 140–158, 2021.
- ZHOU, Y.; LIM, J.; LEE, S. Starch retrogradation in baked products: mechanisms and control. **Food Hydrocolloids**, Amsterdã, v. 128, p. 107601, 2022.

AVALIAÇÃO DO DESPERDÍCIO NO SETOR DE HORTIFRUTI EM SUPERMERCADOS DO MUNICÍPIO DE AÇAILÂNDIA- MA

André Gustavo Lima de Almeida Martins

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA), Campus Açailândia

Cristiane Pinheiro Maia de Araújo

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA), Campus Açailândia

Anna Laura Furtado Corrêa

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA), Campus Açailândia

Ivanyelle Mendes Santos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA), Campus Açailândia

Stephanie Francynni Viana Sampaio

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA), Campus Açailândia

RESUMO

Introdução: O descarte inadequado de alimentos é uma questão mundial que traz sérias consequências à sociedade, ao meio ambiente e à economia. O setor de hortifrúti, que inclui frutas, legumes e verduras, é um dos mais afetados pelo desperdício devido à perecibilidade destes produtos, o que compromete a disponibilidade de alimentos saudáveis, contribui para o aumento dos casos de insegurança alimentar e agrava a fome no país. **Objetivo:** A presente pesquisa objetivou avaliar o desperdício de hortifrúti em supermercados do município de Açailândia - MA, destacando suas causas e estratégias de controle das perdas no setor de varejo. **Metodologia:** A pesquisa foi realizada em três etapas, a saber: (1) visita exploratória aos supermercados; (2) aplicação de questionários sobre as condições de comercialização, manuseio e acondicionamento dos produtos; (3) tabulação de dados e análise dos resultados. **Resultados:** Com base nos resultados obtidos, foi possível verificar que, as perdas de frutas e hortaliças nos supermercados de Açailândia variam entre 5% e 15%, sendo ocasionadas pela ausência de práticas eficazes durante o transporte e manuseio na distribuição. Frutas como o tomate destacam-se entre os itens mais desperdiçados devido à sua alta perecibilidade. **Conclusão:** Os dados obtidos neste estudo evidenciaram que, a falta de controle da temperatura de armazenamento e distribuição, o empilhamento excessivo e a ausência de capacitação técnica dos colaboradores no que tange às Boas Práticas de Fabricação (BPF) agravam a situação, afetando significativamente a rentabilidade das redes de supermercados e elevando os índices de perdas pós-colheitas de frutas e hortaliças.

Palavras-chave: Hortifrúti; Supermercados; Perdas pós-Colheita.

INTRODUÇÃO

No planeta, milhões de pessoas vivem em situação de fome e extrema pobreza. Por muitos anos, acreditava-se que a fome estava relacionada apenas com a carência de alimentos, no entanto, por meio de estudos e avanços no campo do saber, percebe-se que outros fatores também contribuem para esse cenário, dentre eles: a desigualdade social, a distribuição inadequada e o desperdício (Prim, 2003).

Segundo a FAO (2011), o termo desperdício, no contexto da cadeia alimentar, diz respeito ao descarte intencional de itens próprios para consumo, especialmente por parte de varejistas e consumidores. Este fenômeno representa uma perda significativas de recursos naturais, energia e mão de obra empregada na produção, processamento e distribuição dos alimentos.

De acordo com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), o desperdício de alimentos é uma questão de grande importância que afeta não apenas a disponibilidade de alimentos, mas também o meio ambiente e a economia. Estima-se que cerca de 1,3 milhões de toneladas de alimentos sejam perdidas ou desperdiçadas anualmente, o que representa aproximadamente $\frac{1}{3}$ da produção global. Esses números são alarmantes, especialmente considerando que 735 milhões de pessoas no mundo não têm acesso adequado à alimentação (FAO, 2019).

Os debates em torno da questão ambiental têm ganhado cada vez mais destaque, evidenciando que o excesso de produção agrícola tem gerado impactos negativos relevantes para a sociedade. O ritmo acelerado da atividade econômica tem se mostrado problemático e preocupante para o meio ambiente. A economia, pautada na produção e consumo excessivos, tem levado ao acúmulo de mercadorias, resultando em futilidade e desperdício. Essa abordagem tem potencial para desencadear um futuro desastre ambiental de grandes proporções (Longo, 2022).

Neste contexto, os produtos agrícolas que vão para o lixo poderiam sustentar em torno de 19 milhões de pessoas diariamente, proporcionando as três refeições básicas. Na economia, tais estimativas representam um valor de R\$ 12 bilhões de reais por ano jogados fora. Isso explica o motivo do Brasil se encontrar, recentemente, em sexto lugar no ranking mundial de desnutrição, com

diversos casos de insegurança alimentar, isto é, pessoas que não têm acesso a alimentos que forneçam os nutrientes necessários para seu desenvolvimento (Bicalho; Lima, 2013).

No ramo dos supermercados, o setor hortifrúti é um dos que possui uma maior circulação de pessoas e um dos maiores encarregados por atrair os consumidores. Entretanto, esse setor é caracterizado pelos altos índices de perdas, representando um dos maiores desafios enfrentados pelos supermercados (Pereira; Gomes; Ávalo, 2015).

Ao se tratar de hortifrúti perecíveis, é essencial garantir que os alimentos ofertados aos consumidores permaneçam em boas condições para consumo. Para isso, é necessário um transporte adequado, atenção aos detalhes, como o armazenamento das frutas e hortaliças, com a finalidade de evitar que os mesmos cheguem aos estabelecimentos apresentando defeitos (Silva, 2014). Ressalta-se, ainda, que o reaproveitamento dos alimentos, mesmo aqueles que foram manipulados de forma incorreta, configura uma alternativa viável para atender às necessidades nutricionais da população, em especial os grupos mais vulneráveis. Essa prática não apenas contribui para a redução do impacto ambiental causado pelo descarte inadequado, mas também possibilita a geração de lucros para as empresas e a consequente redução de preços ao consumidor final (Evangelista, 2001). Logo, é essencial estabelecer estratégias que promovam a eficiência no uso dos recursos alimentares, a construção de hábitos alimentares saudáveis e a redução dos prejuízos decorrentes dessa questão.

Considerando a elevada importância desta temática, bem como, a contextualização deste problema em meio ao cenário brasileiro, esta pesquisa teve como objetivo realizar uma avaliação acerca do desperdício de hortifrúti em supermercados do município de Açailândia – MA, ressaltando as causas e os impactos do desperdício no âmbito econômico, ambiental e na saúde da população local.

REFERENCIAL TEÓRICO

Desperdício no Setor de Hortifrúti

Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO, 2011), as perdas podem ser compreendidas como a diminuição da disponibilidade e da qualidade dos alimentos para ingestão humana, a qual ocorre no decorrer da cadeia de abastecimento alimentar, especialmente nas etapas de processamento, pós-colheita e produção. Por outro lado, o desperdício refere-se ao descarte intencional de produtos que, na maioria dos casos, são decorrentes de comportamentos adotados em restaurantes, supermercados e residências, por exemplo (Brasil, 2018).

O setor hortifrúti, local de comercialização de frutas, verduras e legumes – apresenta alta sensibilidade ao desperdício, haja vista a perecibilidade dos produtos em questão e, por isso, demanda maior atenção dos varejistas. Conforme apontam estudos, aproximadamente 50% dos desperdícios em supermercados são provenientes desse segmento (Lopes; Martins, 2020). Esse descarte excessivo pode ser causado, sobretudo, pelo manuseio inadequado dos consumidores, pelo armazenamento a que foram submetidos e a exposição dos produtos a fatores externos, tal qual a temperatura (Melo; Silva, 2021).

O desperdício de hortifrúti, fenômeno presente em todas as etapas da cadeia de produção, pode ser influenciado por diversos aspectos, destacando-se:

- **Transporte e logística:** frutas e hortaliças, quando mal acondicionadas, torna-se suscetíveis às perdas de qualidade e às injúrias mecânicas no momento do transporte, o que leva ao descarte das mesmas (Garcia; Moreira, 2021);
- **Armazenamento e exposição:** produtos hortifrutícolas com rápida deterioração podem estar relacionados, muitas vezes, à escassez de refrigeração e de controle de umidade nos locais de comercialização (Souza; Nunes, 2020);
- **Percepções dos consumidores:** alimentos que apresentam deformações em sua forma, tamanho e cor são comumente rejeitados pe-

los compradores e terminam no lixo, embora ainda ideais para o consumo humano (Smith *et al.*, 2019).

Em suma, a redução do desperdício no setor de hortifrúti demanda uma estratégia integrada que envolva métodos apropriados de manipulação, armazenamento e conscientização do consumidor. Somente assim será possível melhorar a eficiência da cadeia produtiva e mitigar as consequências ambientais e sociais associadas a esses óbices.

Gestão de Resíduos e Sustentabilidade

Uma boa gestão dos resíduos alimentares no setor varejista representa um elemento crucial para a garantia da sustentabilidade. Conforme argumenta Dias (2021), sustentabilidade define-se como a habilidade de suprir as necessidades básicas do ser humano sem comprometer as necessidades de gerações futuras. À vista disso, a redução do desperdício de hortifrúti pode não só melhorar a eficiência da loja, como também atenuar os efeitos ao meio ambiente causados pelo descarte inapropriado dos alimentos.

Primordialmente, a compra consciente é uma etapa essencial para evitar as perdas de hortifrúti. Para tanto, deve-se começar pelo básico, como evitar a compra de mercadorias que são superiores à demanda do estabelecimento e dar preferência aos fornecedores mais eficientes e que garantam a segurança dos produtos (Hortifruti Cepea, 2023).

Nesse sentido, é preciso aplicar formas de minimizar o descarte de alimentos em todas as etapas. Algumas ações de fácil alcance são: melhorias nas etapas de produção, por meio de investimentos em infraestrutura e tecnologia; incentivo ao consumo consciente, sensibilizando o consumidor acerca do preço dos produtos e da relevância de reduzir o desperdício; fomentar o aproveitamento integral dos alimentos – prática alimentar baseada na utilização completa de frutos –; realizar doações; reciclagem dos produtos impróprios para consumo, além de garantir a distribuição igualitária e sustentável destes (Cortez, 2023).

Impactos Socioeconômicos e Ambientais do Desperdício de Hortifrúti

De acordo com a FAO (2021), quase um terço de toda a produção agrícola é desperdiçada. Porém, esse desperdício causa efeitos prejudiciais ao meio ambiente, na medida em que, durante a produção dos alimentos, consome-se uma quantidade elevada de recursos naturais (água, solo e energia), assim como gera uma grande quantidade de resíduos que, quando decompostos, emitem um gás altamente nocivo – metano –, contribuindo com o efeito estufa (Silva; Almeida, 2020).

A gestão incorreta de resíduos alimentares resulta em perdas financeiras consideráveis para os produtores, como o tempo e os recursos em cultivos que, na maioria das vezes, não chegam ao consumidor. A FAO também destaca que “o desperdício de alimentos tem um impacto econômico signitorna-setivo”, o qual gira em torno de US\$2,6 trilhões por ano. Dessa maneira, cerca de 26 milhões de toneladas de alimentos vão para o lixo, o que, por outro lado, poderia alimentar 40 milhões de pessoas no país (Cedes, 2018; EMBRAPA, 2018).

De acordo com Gallo (2018), o desperdício não se refere apenas à má distribuição de recursos, mas também às desigualdades sociais. Milhares de pessoas enfrentam inseguranças alimentares decorrentes da grande quantidade de alimentos descartados inadequadamente todos os dias, o que resulta em um grande problema. Nesse viés, projetos que visam redistribuir esses produtos às instituições de caridade são uma excelente alternativa para promover o acesso a uma alimentação saudável e nutritiva e, como efeito, minorar essa adversidade (FAO, 2019).

Boas Práticas de Fabricação (BPF) no Setor de Hortifruti

A cadeia produtiva de alimentos é representada por um conjunto de normas que devem ser rigorosamente controladas a fim de garantir a qualidade e segurança dos produtos. Estas regulamentações, tal qual as Boas Práticas de Fabricação (BPF), estabelecem critérios para todas as etapas, desde o momento da colheita até a comercialização. Além disso, a internacionalização dessas medidas, sobretudo pelos manipuladores de alimentos, promove um desenvolvimento econômico sustentável (Gomes, 2007).

As redes de supermercados, enquanto estabelecimentos varejistas destinados à comercialização de produtos alimentícios, como frutas, verduras e legumes, possuem um papel fundamental na cadeia de abastecimento (Nochieri; Bricarello, 2012). Adjacente a isto, está o sistema de gestão/controle de qualidade, responsável por gerir processos fundamentais para que todos os alimentos estejam isentos de contaminações e, consequentemente, de microrganismos causadores de Doenças Transmitidas por Alimentos (DTAs) (Oliveira *et al.*, 2010). Todavia, há um elevado índice de perdas e desperdícios de produtos perecíveis no setor hortifrúti, visto que o sistema de gestão não fiscaliza o cumprimento das boas práticas de fabricação, bem como, o treinamento adequado dos funcionários não ocorre de maneira eficaz.

Portanto, é imprescindível a implementação de técnicas pós-colheita adequadas com o intuito de otimizar a vida de prateleira destes produtos, mitigando as perdas provocadas pelas condições subótimas de umidade, temperatura e acondicionamento (Yousuf; Qadri; Srivastava, 2018).

METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste projeto, foram escolhidas três redes de supermercados, localizadas na área urbana do município de Açailândia/MA, identificadas como A, B e C para manter a confidencialidade, adotando-se como critério a proximidade com o consumidor e a variedade de produtos comercializados. A princípio, a pesquisa foi dividida em três etapas, conforme a metodologia recomendada por Rufino *et al.* (2012), a saber: 1- Visitação exploratória; 2- Realização de questionários; 3- Análise dos resultados.

Na 1ª etapa (visitação exploratória), foram realizadas visitas aos estabelecimentos com a finalidade de obter informações sobre o local, tais quais os dias de recebimento e reposição de frutas e hortaliças, os dias de maior visitação dos clientes, bem como os funcionários responsáveis por esse setor.

Na 2ª etapa, aplicou-se um questionário, constituído por dez questões objetivas (Anexo 1), de modo a permitir o melhor entendimento acerca dos principais produtos de hortifrúti comercializados e os mais descartados, além da análise das principais causas do desperdício, das condições higiênico-sanitárias dos hortifrúti, das perdas pelo manuseio dos consumidores e da disposição

dos alimentos nas gôndolas. Em seguida, os responsáveis pelo setor foram questionados sobre as suas percepções e conhecimentos a respeito das técnicas de conservação de frutas e hortaliças, além das estratégias adotadas pelos estabelecimentos no que concerne ao acondicionamento dos produtos para a manutenção da qualidade e para o controle de perdas na seção de hortifruti.

Na 3ª etapa, os dados obtidos pelos questionários aplicados nos supermercados foram quantificados e expressos em tabelas. Com isso, os fatores associados ao desperdício e os aspectos mencionados puderam ser avaliados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos após as avaliações realizadas nos supermercados do município de Açailândia – MA acerca do desperdício de hortifrúti estão expressos na Tabela 1. A partir da aplicação do questionário, percebeu-se que as principais causas de perdas de frutas e hortaliças estão relacionadas a danos durante o transporte e ao manuseio inadequado dos clientes. Isso contrapõe o estudo realizado por Rufino *et al.* (2012), que afirma que a maior perda se dá durante a reposição de produtos hortifrutícolas. Essa constatação pode ser feita na medida em que os estabelecimentos analisados adotam a prática de rotatividade de estoque, por nível de maturação, além de um monitoramento adequado sobre a quantidade de alimentos que entram e saem do estoque, a fim de evitar a deterioração e promover a comercialização dos hortifrúti em condições ótimas de consumo.

Nesse cenário, evidencia-se um controle eficaz sobre o prazo de validade dos produtos por parte das redes de supermercados B e C, as quais realizam treinamento periódico dos funcionários em relação às Boas Práticas de Fabricação (BPF) para evitar desperdício. Contudo, o supermercado da rede A informou não realizar este controle, já que os treinamentos são executados de forma pontual. Essa falta de capacitação dificulta a identificação de itens impróprios para venda, bem como, a adoção de métodos de conservação eficientes, expondo as mercadorias à contaminação, às injúrias mecânicas e ao aumento no descarte destas.

No que tange ao transporte de produtos perecíveis, como frutas e hortaliças, este é essencial para manter a qualidade dos alimentos ao longo da

cadeia de comercialização. Durante o trajeto, problemas como amassamentos, quedas e batidas nas caixas são comuns e afetam diretamente a integridade dos produtos. Esses danos geralmente ocorrem devido ao empilhamento excessivo ou à movimentação indevida durante o transporte. Vibrações e atritos com superfícies ásperas também podem causar machucados nos alimentos, provocando o desperdício (Lourenço, 2010).

Além disso, verificou-se a ausência de controle da temperatura no transporte, criando um ambiente interno inadequado no contêiner para preservar a qualidade do produto. Isso contribui tanto para a contaminação microbiológica, que afeta a saúde pública, quanto para a alteração das características sensoriais dos alimentos, como afirma Lorenço (2010).

Tabela 1 - Resultados das avaliações do desperdício de hortifrúti em supermercados do município de Açailândia/MA.

Parâmetros Avaliados	Supermercados		
	A	B	C
Principal causa de desperdício	Danos durante o transporte ou manuseio	Danos durante o transporte ou manuseio	Falta de controle de estoque
% média de descarte semanal	Entre 10% e 15%	Entre 5% e 10%	Entre 5% e 10%
Produtos mais desperdiçados	Frutas (tomate)	Frutas (tomate)	Frutas (tomate)
Estratégias utilizadas para reduzir perdas	Promoções de última hora	Promoções de última hora	Promoções de última hora
Controle de validade	Não	Sim	Sim
Treinamento de funcionários	Pontualmente	Periodicamente	Periodicamente
Controle de estoque	Sim	Sim	Sim
Otimização da exposição e venda	Sim	Sim	Sim
O desperdício afeta a rentabilidade?	Não, têm pouco impacto	Não, têm pouco impacto	Sim, afeta muito
Sugestões de medidas para reduzir o desperdício	Investir em campanhas educativas para consumidores	Adoção de tecnologias para gestão de perdas	Melhor controle de estoque e vendas

Fonte: Os Autores (2025).

No presente estudo, observou-se que a porcentagem de produtos de hortifrúti descartados semanalmente nos supermercados varia entre 5% e 15%, sendo que a rede A registrou maiores índices de perdas (10 a 15%). Estes

dados, apesar de não exercerem influência significativa sobre a estrutura econômica dos estabelecimentos A e B, dado que os produtos perdidos no transporte são repostos pelo fornecedor, ainda impactam consideravelmente a rentabilidade da rede C, a qual apresenta maior variedade de estoques quando comparada às demais.

De acordo com a pesquisa, os tipos de hortifrútis que sofrem maior desperdício são as frutas, a exemplo do tomate (cerca de 15%). A Figura 1 expõe tomates defeituosos em gôndolas de supermercados. Segundo Martins (2022), as perdas de produtos como o tomate in natura podem ocorrer em diversas fases na cadeia produtiva, incluindo o cultivo, a colheita, o período pós-colheita, o armazenamento, o transporte e a logística até os centros de venda no mercado atacadista. O risco de perdas pode surgir já nas etapas iniciais da cadeia produtiva ou do sistema alimentar, uma vez que os produtos agrícolas são, em sua maioria, altamente perecíveis. Dessa forma, o tomate está sujeito à rápida deterioração por ser um fruto climatérico e de alta perecibilidade. Frutos climatéricos apresentam um aumento acentuado na atividade respiratória, o que estimula a produção de etileno e acelera seu amadurecimento, com posterior senescência.

Figura 1. Tomates com defeitos dispostos a comercialização nos supermercados.



Fonte: Os Autores (2025)

O desperdício de frutas e hortaliças em supermercados brasileiros é considerado uma pauta amplamente discutível atualmente, especialmente no

que se refere ao descarte inadequado de produtos perecíveis, tais como tomate, alface, banana e cebola. Nesse contexto, em conformidade com a pesquisa realizada, nota-se que, com o objetivo de reduzir o desperdício e impulsionar a lucratividade através do consumo imediato, os mercados varejistas implementam diversas estratégias. Dentre elas, destacam-se as promoções de última hora, isto é, a oferta de produtos próximos do vencimento com preços reduzidos ou, em muitos casos, de forma fracionada quando possuem imperfeições, tal como mostra a Figura 2, que apresenta uma batata doce comercializada em bandejas, previamente cortada, e contaminada por fungos.

Figura 2. Batata doce fracionada e contaminada por fungos à venda nos supermercados.



Fonte: Os Autores (2025)

Desse modo, consoante o sugerido pelos varejistas, o mercado regional deve adotar estratégias integradas para a redução do desperdício de alimentos, considerando ações educativas, estruturais e operacionais. É essencial promover campanhas de conscientização sobre o consumo responsável e sobre os impactos ambientais do desperdício, voltadas tanto para os permissionários quanto para os clientes (FAO, 2019). Nessa perspectiva, orientações sobre o manuseio adequado dos produtos devem ser disponibilizadas por meio de sinalizações visuais e treinamentos, prevenindo danos causados pelo toque excessivo e inadequado dos consumidores (Silva; Sousa, 2020).

Na Figura 3, observa-se maçãs em estado de deterioração, seja pelo empilhamento ou pela má manipulação.

Figura 3 - Mações em estado de deterioração comercializada nos supermercados avaliados.



Fonte: Os Autores (2025)

Outrossim, recomenda-se a modernização dos sistemas de climatização e armazenamento, com o fito de preservar melhor a qualidade dos alimentos expostos (Gonçalves, 2021). A oferta de capacitação contínua por profissionais especializados pode auxiliar os comerciantes na gestão eficiente do processo de compra e venda, auxiliando na diminuição das perdas (FAO, 2019). Ressalta-se, também, a importância da criação de um Banco de Alimentos, com estrutura apropriada para a triagem e o armazenamento dos produtos descartados, mas ainda próprios para o consumo, destinados à doação para pessoas em situação de vulnerabilidade social (Brasil, 2021). Nesse espaço, devem ser desenvolvidas ações voltadas à segurança alimentar e à educação ambiental (Costa; Nascimento, 2022). Por fim, recomenda-se a construção de uma área específica para o descarte e a gestão adequada dos resíduos sólidos gerados no local (Gonçalves, 2021).

CONCLUSÃO

A partir da avaliação realizada em redes de supermercados no município de Açailândia – MA selecionadas para esta pesquisa, observou-se que o desperdício de frutas e hortaliças constitui um problema recorrente, fortemente associado a deficiências na conservação, falhas no transporte e à ausência de estratégias eficazes para mitigar as perdas. Por meio de visitas exploratórias e

da aplicação de questionários, foram identificadas fragilidades na infraestrutura dos estabelecimentos analisados, além da não conformidade com os princípios das Boas Práticas de Fabricação (BPF), sobretudo nos processos de distribuição e controle de qualidade dos alimentos.

Verificou-se ainda que, a alta perecibilidade dos produtos hortifrutigranjeiros, aliada à escassa capacitação técnica dos colaboradores e ao comportamento seletivo dos consumidores, intensifica significativamente o volume de perdas nesse segmento. Esse panorama não apenas compromete a rentabilidade dos varejistas, como também acarreta impactos ambientais relevantes e contribui de forma expressiva para o agravamento da insegurança alimentar local.

REFERÊNCIAS

BICALHO, A. H.; LIMA, V. O. B. Redução do desperdício em uma Unidade de Alimentação e Nutrição. **Brazilian Journal of Food and Nutrition**, v. 38, n. 3, p. 269-277, 2013.

BRASIL. Câmara Interministerial de Segurança Alimentar e Nutricional. **Estratégia intersetorial para a redução de perdas e desperdício de alimentos no Brasil**. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Social, 2018. p. 11.

BRASIL. Ministério da Cidadania. **Manual de implantação e funcionamento de Bancos de Alimentos**. Brasília: Ministério da Cidadania, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/cidadania/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/inclusao-produtiva/banco-de-alimentos>. Acesso em: 17 maio 2025.

CEDES – CENTRO DE ESTUDOS E DEBATES ESTRATÉGICOS. Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados. Perdas e desperdício de alimentos – estratégias para redução. **Série de cadernos de trabalhos e debates**, n. 3. Brasília, DF, 2018. p. 260.

CORTEZ, H. **Desperdício de alimentos é uma ameaça social e ambiental**. Instituto Humanitas Unisinos, 16 de maio de 2023. Disponível em: <https://www.ihu.unisinos.br/categorias/628677-desperdicio-de-alimentos-e-uma-ameaca-social-e-ambiental>. Acesso em: 3 out. 2024.

COSTA, A. F.; NASCIMENTO, D. R. Educação ambiental e segurança alimentar em equipamentos públicos de abastecimento. **Revista Brasileira de Políticas Públicas**, Brasília, v. 12, n. 1, p. 77-90, 2022.

DIAS, R. **Sustentabilidade: princípios e práticas**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2021.

EMBRAPA. **Perdas e desperdícios de alimentos: uma questão de segurança alimentar e nutricional**. Brasília: EMBRAPA, 2018. Disponível em: www.embrapa.br. Acesso em: 04 out. 2024.

EVANGELISTA, J. **Tecnologia de Alimentos**. 2ª ed. Rio de Janeiro/São Paulo: Atheneu, 2001.

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **Global food losses and food waste: extent, causes and prevention**. Roma: FAO, 2011. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e.pdf>. Acesso em: 03 out. 2024.

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **The State of Food and Agriculture 2019: Moving Forward on Food Loss and Waste Reduction**. Rome: FAO, 2019. Disponível em: <https://www.fao.org/3/ca6030en/ca6030en.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2024.

FAO. **The State of Food and Agriculture 2021: Food systems and the role of food loss and waste reduction**. Roma: FAO, 2021. Disponível em: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/CB2647PT>. Acesso em: 3 out. 2024.

GALLO, J. M. A. S. **Avaliação da percepção de participantes do Banco de Alimentos da Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo sobre o processo de irradiação de alimentos**. Divulgação do tratamento de alimentos por radiação ionizante: desenvolvimento de questionário e análise sensorial. 2018. 245 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

GARCIA, M. A.; MOREIRA, T. D. A logística reversa no controle de desperdícios no setor hortifrúti. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 78-90, 2021.

GOMES, J. C. **Legislação de alimentos e bebidas**. 2ª ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2007. p. 365.

GONÇALVES, A. P. Gestão de resíduos sólidos em mercados públicos: desafios e soluções sustentáveis. **Cadernos de Desenvolvimento Sustentável**, Brasília, v. 9, n. 1, p. 89-104, 2021.

HORTIFRUTI CEPEA. **Redução de desperdício: sustentabilidade em alta**. Piracicaba: Cepea, 2023. Disponível em: <https://www.hfbrasil.org.br/br/hortifruti-cepea-reducao-de-desperdicio-sustentabilidade-em-alta.aspx>. Acesso em: 3 out. 2024.

LONGO, A. M. M. **Perdas e Desperdício de Alimentos no Brasil**. 2022. 57f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Econômicas) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2022.

LOPES, F. R.; MARTINS, D. C. Avaliação das perdas e desperdícios no varejo de hortifrúti no Brasil. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 10, n. 1, p. 12-25, 2020.

LOURENÇO, J. O. **Minimização do desperdício de alimentos em um supermercado da cidade de Presidente Prudente/SP**. 2022. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Gestão Empresarial) – Faculdade de Tecnologia de Presidente Prudente, Centro Paula Souza, Presidente Prudente, 2022.

MARTINS, M. N. C. **Análise das perdas de tomate in natura nos elos da produção, intermediário e atacadista da região de Araçatuba-SP: um estudo de caso**. 2022. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócio e Desenvolvimento) – Faculdade de Ciências e Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Tupã, 2022.

MELO, J. B.; SILVA, F. G. Manuseio inadequado de hortifrúti como fator de perdas no varejo. **Revista de Engenharia de Produção**, v. 16, n. 3, p. 120-130, 2021.

NOCHIERI, A. C. M.; BRICARELLO, L. P. Biofilmes bacterianos: desafio para a qualidade dos alimentos. **Revista Higiene Alimentar**, São Paulo, v. 25, n. 214/215, p. 1-6, nov./dez. 2012.

OLIVEIRA, A. B. A.; *et al.* Doenças transmitidas por alimentos: principais agentes etiológicos e aspectos gerais – uma revisão. **Revista HCPA**, Porto Alegre, v. 30, n. 3, p. 279-285, jul./set. 2010.

PEREIRA, D.; GOMES, L.; ÁVALO, H. Variação envolve compromisso logístico de hortifrúti em supermercados. **Comunicação & Mercado**, v. 4, n.9, p. 222-232, jan./jun. 2015.

PRIM, M. B. S. **Análise do Desperdício de partes vegetais consumíveis**. 2003. 117 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

RUFINO, J. S. *et al.* Análise de desperdício de alimentos em supermercados do município de Garanhuns-PE. In: ENCONTRO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2012, Campina Grande. **Anais [...]**. Campina Grande: Realize, 2012. p. 4-5.

SILVA, L. C.; SOUSA, M. F. D. Educação ambiental e segurança alimentar: uma abordagem integrada no contexto dos mercados públicos. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 142-156, 2020.

SILVA, R. M.; ALMEIDA, M. P. O impacto do desperdício de alimentos na economia e no meio ambiente. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 20, p. 45-58, 2020. Disponível em: <https://www.rbca.com.br/artigos/desperdicio-alimentos-economia-meio-ambiente>. Acesso em: 04 out. 2024.

SILVA, T. J. T. **Logística empresarial no setor de supermercados no município de Cacoal/RO**. 2014. 37f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Administração) - Universidade Federal de Rondônia, Cacoal, 2014.

SMITH, T. D. *et al.* Consumer behavior and food waste: The role of appearance standards in fresh produce purchasing decisions. **Journal of Retailing and Consumer Services**, v. 52, p. 101-108, 2019.

SOUZA, R. C.; NUNES, A. L. A influência do armazenamento na vida útil de produtos perecíveis no setor de hortifrúti. **Revista Brasileira de Tecnologia em Alimentos**, v. 22, n. 1, p. 45-50, 2020.

YOUSUF, B.; QADRI, O. S.; SRIVASTAVA, A. K. Recent developments in shelf-life extension of fresh-cut fruits and vegetables by application of different edible coatings: a review. **LWT - Food Science and Technology**, v. 89, p. 198-209, 2018.

Anexo 1. Questionário de Avaliação do Desperdício no Setor de Hortifrúti em Supermercados do Município de Açailândia – MA

1. Qual é a principal causa do desperdício de produtos hortifrúti no seu supermercado?

- ☐ Perda por vencimento de validade
- ☐ Danos durante o transporte ou manuseio
- ☐ Falta de controle de estoque
- ☐ Excesso de oferta
- ☐ Outros (especifique): _____

2. Em média, qual a porcentagem de produtos hortifrúti descartados semanalmente no seu supermercado?

- ☐ Menos de 5%
- ☐ Entre 5% e 10%
- ☐ Entre 10% e 15%
- ☐ Mais de 15%

3. Qual o principal tipo de hortifrúti que sofre maior desperdício em seu supermercado?

- ☐ Frutas (maçã, banana, laranja, etc.)
- ☐ Verduras (alface, couve, rúcula, etc.)
- ☐ Legumes (cenoura, batata, abobrinha, etc.)
- ☐ Outros (especifique): _____

4. Quais estratégias são adotadas para reduzir o desperdício no setor de hortifrúti?

- ☐ Promoções de última hora
- ☐ Doação de produtos próximos ao vencimento
- ☐ Ajuste de pedidos e reposições de estoque
- ☐ Recondicionamento e reaproveitamento de produtos
- ☐ Nenhuma das alternativas acima

5. O seu supermercado tem um controle eterna-sez sobre o prazo de validade dos produtos hortifrúti?

- ☐ Sim
- ☐ Não
- ☐ Em parte (Explicar): _____

6. Os funcionários do setor de hortifrúti são treinados para evitar o desperdício?

- ☐ Sim, periodicamente
- ☐ Não
- ☐ Sim, mas de forma pontual

7. Existe um controle adequado sobre a quantidade de produtos hortifrúti que entra e sai do estoque?

- ☐ Sim
- ☐ Não
- ☐ Em parte

8. O supermercado adota práticas para otimizar a exposição e venda dos hortifrúti (ex: organizar por maturação, promover rotatividade de estoque)?

- ☐ Sim, de forma sistemática
- ☐ Não
- ☐ Sim, mas de forma ocasional

9. O desperdício de hortifrúti no seu supermercado afeta de forma signitorna-setiva a rentabilidade do setor?

- ☐ Sim, afeta muito
- ☐ Não, tem pouco impacto
- ☐ Não afeta, não há desperdício signitorna-setivo
- ☐ Não sei

10. Em sua opinião, quais medidas poderiam ser adotadas para reduzir o desperdício de hortifrúti no supermercado?

- ☐ Melhor controle de estoque e vendas
- ☐ Investir em campanhas educativas para consumidores
- ☐ Melhor treinamento para os funcionários do setor
- ☐ Adoção de tecnologias para gestão de perdas
- ☐ Outras sugestões (especifique): _____

SOBRE OS ORGANIZADORES

Carlos Alberto Martins Cordeiro

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará (1995), mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Viçosa (1999) e doutorado em Produção Vegetal pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (2002) com área de concentração em Ciência e tecnologia de alimentos. Professor Associado da Universidade Federal do Pará, locado no Instituto de Estudos Costeiros (IECOS), no Curso de Engenharia de Pesca, *Campus* de Bragança (PA), atua na área de Qualidade e Tecnologia do Pescado, onde realiza pesquisa com desenvolvimento de produtos à base de pescado e estudos com isolamento e uso de bactérias probióticas na aquicultura.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5010139685215361>

Norma Suely Evangelista-Barreto

Possui graduação em Engenharia de Pesca pela Universidade Federal do Ceará (1998), mestrado em Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal do Ceará (2001) e doutorado em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Pernambuco (2006). Atualmente é professora Associado III na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB, atuando nas linhas de pesquisa Tecnologia do Pescado e Microbiologia de Alimentos. Na área de MICROBIOLOGIA, tem experiências nos seguintes temas: microbiologia de alimentos com ênfase em segurança alimentar, microbiologia ambiental, resistência antimicrobiana e biodegradação de corantes. Na área de TECNOLOGIA DE ALIMENTOS vem trabalhando na elaboração de novos produtos visando agregação de valor em produtos a base de pescado, elaboração de produtos funcionais e o uso de revestimentos naturais na conservação de alimentos em substituição aos conservantes químicos.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9100362269372451>

Alex Guimarães Sanches

Engenheiro Agrônomo (Universidade Federal do Pará, PA). Mestre em Agronomia/ Fitotecnica (Universidade Federal do Ceará, CE). Doutor em Agronomia/Produção Vegetal (Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" FCAV/UNESP, *Campus* de Jaboticabal - SP). Atuando nas seguintes linhas: Fisiologia e bioquímica vegetal, Fisiologia de Pós-colheita (qualidade físico-química, processamento mínimo, metabolismo antioxidante e oxidativo, vitamina C, compostos fenólicos, manejo de pragas e doenças de grãos e frutas armazenadas), Tecnologia de Alimentos (carnes, vegetais, farinhas, leite e óleos), Fruticultura (produção de mudas, superação

de dormência em sementes, estaquia, enxertia, alporquia, micropropagação). Experiência nas tecnologias: revestimento comestível, bloqueadores da síntese de etileno, crioconservação, atmosfera modificada e controlada, tratamentos térmicos (hidrorresfriamento, micro-ondas), radiação (UV-C, gama e luz pulsada), LED.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2372153782028484>

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aceitação: 97, 99, 106, 108, 110, 111, 112, 113, 114, 148, 189, 190, 191, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 202, 215, 216, 217, 224, 226, 234, 238, 240, 257

Agricultor Familiar: 12, 13

Alerta de Rotulagem Frontal: 25, 30, 31, 34, 35, 40

Alimentação: 12, 13, 18, 116, 152, 154, 155, 164, 170, 171, 189, 202, 211, 226, 231, 239, 285, 287, 289, 297, 298

Alimentos Funcionais: 120, 147, 148, 205, 207, 209, 257

Análise Físico-Química: 220, 243, 260

Análise Sensorial: 115, 189, 193, 195, 196, 198, 202, 203, 222, 298

Antioxidants: 65, 82, 86, 92, 94, 117, 186, 218, 221, 222, 258, 259

B

Bioconversão: 152, 155, 159, 164, 171

C

Carcinogenic: 43, 44, 45, 46, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 61, 62, 66, 69, 71, 72, 77, 78, 79, 85, 87

Carne Cultivada: 224, 226, 235, 237, 239

Ciência de Alimentos: 186, 221, 224, 226, 227, 235, 239, 265, 266, 267, 269, 270, 280

Cinética de Secagem: 118, 119, 121, 122, 123, 125, 127, 129, 131, 132, 133, 136, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 150

Coffea: 132, 174, 175, 186

Compostos Bioativos: 121, 130, 136, 137, 144, 146, 147, 154, 191, 205, 208, 216, 221, 242, 243, 244, 245, 253, 256, 258

D

Desenvolvimento Rural: 12, 14, 16, 21, 23

Discriminação Alélica: 174

Diversificação de Produto: 189

E

Emerging Technologies: 46, 61, 74, 75

Energia de Ativação: 119, 124, 130, 131

Ensino de Química: 265, 280

Entomofagia: 224, 237

Euterpe Oleracea Mart: 243, 244, 258, 259, 260

F

Fermentação de Precisão: 224, 226, 233

Fermentação Semissólida: 152, 153, 155, 156, 159, 160, 161, 162, 164, 165, 167, 170, 171

Food Contamination: 44, 46, 63, 67, 72, 75

Food Processing: 61, 62, 94, 200, 259, 281

Food Safety: 44, 45, 46, 52, 53, 54, 56, 61, 62, 77, 83, 89, 94, 201, 241, 280, 281

Food Safety: 44, 45, 46, 52, 53, 54, 56, 61, 62, 77, 83, 89, 94, 201, 241, 280, 281

G

Genotipagem: 174, 175, 177, 184, 185

H

Hortifrúti: 284, 286, 287, 288, 290, 293, 298, 299, 300, 301

K

kit: 174, 181, 183

M

Mitigation Strategies: 61, 72

Moringa Oleífera: 152, 153, 155, 156, 158, 159, 160, 161, 170, 171

N

Nopalea Cochenillifera: 152, 154, 155, 156, 158, 170

P

PAH: 44, 45, 46, 47, 48, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80

Panificação: 27, 205, 206, 216, 217, 230, 231, 238

Perdas pós-Colheita: 284

Pescado: 189, 190, 191, 199, 201, 202, 203

Pitangueira: 136, 137, 138, 145, 146, 147, 148

Plantas Medicinais: 136, 137, 258, 260

Políticas de Combate a DNT: 25

Políticas Públicas: 12, 14, 20, 22, 23, 201, 259, 297

Polyphenols: 74, 82, 93, 218, 257

Precursor Amino Acids: 82, 88

Probiótico: 97

Processamento de Alimentos: 121, 176, 205, 278

Propriedades Físico-Químicas: 216, 245, 265

Propriedades Funcionais: 144, 147, 224, 230, 232, 256

Proteínas Vegetais: 224, 226, 227, 230, 233, 238, 239

Protocolo de Extração: 174, 176, 179, 181, 184

S

Segurança Alimentar: 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 120, 190, 207, 221, 224, 226, 240, 265, 267, 269, 278, 280, 296, 297, 299

Segurança Alimentar: 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 120, 190, 207, 221, 224, 226, 240, 265, 267, 269, 278, 280, 296, 297, 299

Sorvete: 97

Subprodutos: 145, 153, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 232, 234, 239, 245, 254

Supermercados: 28, 33, 206, 283, 284, 286, 287, 290, 291, 293, 294, 295, 296, 299

Sustentabilidade: 12, 14, 15, 17, 18, 20, 21, 99, 146, 147, 151, 153, 202, 203, 205, 228, 232, 239, 243, 245, 260, 267, 269, 280, 288, 297, 298

Sustentabilidade Alimentar: 243

T

Tabela Nutricional: 25, 28, 30, 31, 33, 35, 36, 38, 39

V

Vitis spp: 82, 83, 85



científica digital



VENDA PROIBIDA - ACESSO LIVRE - OPEN ACCESS



www.cientificadigital.org | contato@cientificadigital.org