Pesquisas atuais

INOVAÇÃO NA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS DO NORDESTE

II CONGRESSO PARAIBANO DE PROCESSAMENTO E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
CAMPINA GRANDE - PARAÍBA



PROF. DR. ADRIANO GOMES DE SOUSA
PROFA. DRA. TATIANA COLOMBO PIMENTEL
PROF. DR. RAMON S. ROCHA
PROF. DRA. VIRGÍNIA MIRTES DE ALCÂNTARA SILVA
PROF. DRA. ALINE DOS SANTOS GARCIA GOMES

Pesquisas atuais

INOVAÇÃO NA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS DO NORDESTE

II CONGRESSO PARAIBANO DE PROCESSAMENTO E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
CAMPINA GRANDE - PARAÍBA



PROF. DR. ADRIANO GOMES DE SOUSA
PROFA. DRA. TATIANA COLOMBO PIMENTEL
PROF. DR. RAMON S. ROCHA
PROF. DRA. VIRGÍNIA MIRTES DE ALCÂNTARA SILVA
PROF. DRA. ALINE DOS SANTOS GARCIA GOMES



Venda proibida



Open access

EDITOR-CHEFE: JACKSON ANDSON DE MEDEIROS

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sousa, Adriano Gomes de [e outros quatro organizadores]. Inovação na Produção de Alimentos do Nordeste: II Congresso Paraibano de Processamento e Tecnologia de Alimentos, Campina Grande - Paraíba / Adriano Gomes de Sousa, Tatiana Colombo Pimentel, Ramon S. Rocha, Virgínia Mirtes de Alcântara Silva, Aline dos Santos Garcia Gomes [organizadores]. Jardim do Seridó: Agronfy, 2025.

Formato digital.

Inclui referências bibliográficas e índice analítico.
ISBN: 978-65-85062-25-1

1. Inovação 2. Produção de Alimentos 3. Nordeste 4. Tecnologia 5. Sustentabilidade 6. Agroindústria 7. Gastronomia 8. Mercado 9. Desenvolvimento I. Sousa, Adriano Gomes de II. Pimentelí, Tatiana Colombo III. Rocha, Ramon S. IV. Silva, Virgínia Mirtes de Alcântara V. Gomes, Aline dos Santos Garcia VI. Agron Food Academy (Brasil).

CDD 630

DOI: 10.53934/agronfy-2025-04

Todas as opiniões e textos presentes neste livro são de inteira responsabilidade de seus autores e coautores.

Agronfy

ORGANIZADORES

Prof. Dr. Adriano Gomes de Sousa – IFRJ
Profa. Dra. Tatiana Colombo Pimentel - IFPR - Campus Paranavaí
Prof. Dr. Ramon S. Rocha – Universidade de São Paulo (USP)
Prof. Dra. Virgínia Mirtes de Alcântara Silva – RIPERC (UNIOESTE- PARANÁ)
Prof. Dra. Aline dos Santos Garcia Gomes – IFRJ

COMITÊ CIENTÍFICO

Prof. Dra. Ana Julia de Brito Araujo Carvalho - IF Sertão-PE
Prof. Dr. Alexandre Santos de Souza – IFSALINAS
Prof. MsC. Aline Dias Gonçalves Ferraz – Nutricionista - FCA UNICAMP
Prof. Dr. Érika Patrícia Chagas Gomes Luz - DTI-A, CNPq – CE
Prof. Msc. Gabriel Monteiro da Silva – UEPB
Dr. Igor Souza de Brito Carvalho - UFF
Prof. Dra. Larissa Graziele Rauber Duarte – IFSuldeMINAS – Campus Machado – MG
Prof. MsC. Natália Duarte Lima - Faculdade de Tecnologia CENTEC — Quixeramobim–CE.
Prof. Dr. Normando Mendes Ribeiro Filho – UFPB - Areia – PB
Prof. Dra.Tamires dos Santos Pereira - IFPI

DEDICATÓRIA

Dedicamos esta obra a todos os pesquisadores comprometidos com a área de alimentos, cujo trabalho incansável e paixão pela ciência transformam desafios em soluções e contribuem para um futuro mais sustentável e saudável. Em especial, ao ***Prof. Dr. Adriano Gomes da Cruz****, presidente da sbCTA, por sua dedicação e empenho no fortalecimento da ciência e tecnologia de alimentos no país, promovendo avanços essenciais para o setor e inspirando novas gerações de pesquisadores.*

AGRADECIMENTO ESPECIAL

A organização do II Congresso Paraibano de Processamento e Tecnologia de Alimentos (II CPPTA) expressa seu profundo agradecimento à Pró-Reitoria de Extensão da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) pelo apoio institucional, fundamental à realização deste evento. A extensão universitária desempenha um papel essencial na difusão do conhecimento, promovendo a integração entre a academia e a sociedade e impulsionando o desenvolvimento regional por meio da inovação e da tecnologia.

O compromisso da extensão fortalece a conexão entre ensino, pesquisa e práticas aplicadas, permitindo que iniciativas como o II CPPTA alcancem um impacto significativo na produção de alimentos no Nordeste, especialmente na agricultura familiar e na agroindústria. Graças a esse apoio, o evento tem se consolidado como um espaço essencial para a troca de conhecimentos e a promoção de inovações no setor. Reunindo os melhores pesquisadores do Nordeste, o II CPPTA fortalece ainda mais o compromisso com a disseminação da ciência, promovendo um ambiente de aprendizado e colaboração entre pesquisadores, profissionais e estudantes.

Assim, agradecemos o suporte inestimável da Pró-Reitoria de Extensão da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) que reforça a importância do diálogo entre ciência e setor produtivo, contribuindo para a formação de profissionais qualificados e para o avanço sustentável da agroindústria, cooperativas e associações, com reflexos diretos na segurança alimentar, na valorização dos produtores locais e no desenvolvimento da sociedade.

Equipe do II CPPTA

AGRADECIMENTOS

A organização do II Congresso Paraibano de Processamento e Tecnologia de Alimentos (II CPPTA) expressa seu mais sincero agradecimento a todos que tornaram possível a realização deste evento.

Nosso reconhecimento especial à Fundação de Apoio à Pesquisa Agrícola – FUNDAG, cuja atuação tem sido essencial para o sucesso do II CPPTA desde sua primeira edição. A partir de 1991, nossa parceira, a FUNDAG vem se destacando pelo seu compromisso inabalável com o desenvolvimento da agropecuária, a preservação ambiental e o avanço das ciências agrícolas e afins no Brasil. Atualmente, a instituição vive uma nova etapa em sua trajetória de apoio ao setor agropecuário e ao meio ambiente, impulsionando o setor com inovação, tecnologia e sustentabilidade. Sua parceria com o II CPPTA reafirma a importância do diálogo entre o conhecimento técnico-científico e as práticas do campo, promovendo soluções inovadoras para os desafios do setor agroalimentar.

Agradecemos também à Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos (sbCTA), instituição de referência no Brasil desde 1967, por sua inestimável contribuição ao avanço da pesquisa e desenvolvimento na área de alimentos. Ao longo de sua história, a sbCTA tem sido um pilar na disseminação do conhecimento técnico-científico, influenciando normas e promovendo eventos de grande impacto.

Nosso reconhecimento à Associação Paulista de Extensão Rural - APAER – SP, que há anos promove a inclusão social, a geração de renda e o fortalecimento da vida no campo por meio da assistência técnica e da educação rural. Cujo trabalho é essencial para garantir a segurança alimentar e o desenvolvimento socioeconômico sustentável, valorizando os saberes tradicionais e respeitando a cultura das populações rurais.

Além disso, estendemos nosso agradecimento pela presença de pesquisadores da Rede Internacional de Pesquisa Resiliência Climática (RIPERC), um consórcio global que reúne mais de 260 pesquisadores de 15 países, com um forte compromisso com a resiliência climática e o desenvolvimento sustentável. A colaboração internacional promovida pela RIPERC – UNIOESTE - PARANÁ fortalece iniciativas inovadoras e interdisciplinares que contribuem para um futuro sustentável frente as mudanças climáticas em curso que impacta primeiramente a agricultura, assim alinhando-se à proposta do II CPPTA de promover tecnologias que beneficiam a produção de alimentos, segurança alimentar e a educação ambiental.

Por fim, celebramos a presença do Grupo Chorata, um dos mais renomados grupos de Choro da Paraíba, que enriquece nosso evento com a autenticidade da música brasileira. Com sua trajetória dedicada à valorização do Choro desde 2007, ritmo genuinamente brasileiro o Chorata leva ao II CPPTA a essência da cultura nacional, reafirmando a importância da arte e da música na difusão do conhecimento e na construção de um ambiente de troca e inovação.

A todos os nossos apoiadores e participantes do evento nosso mais profundo agradecimento. O sucesso deste congresso só é possível graças ao compromisso e à dedicação de instituições e pesquisadores que compartilham da nossa missão de impulsionar a pesquisa, a inovação e o desenvolvimento sustentável no setor de alimentos em nossa região.

Equipe do II CPPTA

APRESENTAÇÃO

O livro do II Congresso Paraibano de Processamento e Tecnologia de Alimentos 2024 compila as principais pesquisas apresentadas no evento, consolidando-se como uma relevante publicação científica. Com o tema "Inovação na Produção de Alimentos do Nordeste", a obra destaca a importância do processamento e da tecnologia de alimentos para uma região marcada por desafios climáticos e hídricos, mas que também possui uma rica biodiversidade e um enorme potencial agroindustrial.

Diante das mudanças climáticas em curso, torna-se essencial desenvolver estratégias sustentáveis para a produção de alimentos, principalmente no semiárido nordestino, onde a segurança alimentar e o aproveitamento eficiente dos recursos naturais são desafios constantes. Este livro reforça como técnicas inovadoras e o uso sustentável das matérias-primas locais podem impulsionar o desenvolvimento econômico e social, alinhando-se às diretrizes da ONU para a segurança alimentar, que incluem a promoção da agricultura sustentável, a redução do desperdício e o acesso universal a alimentos nutritivos.

No contexto global, a América Latina e o Caribe enfrentam desafios únicos em relação à segurança alimentar, mas possuem potencial para liderar iniciativas sustentáveis no setor alimentício. Como afirma a FAO, "a América Latina e o Caribe têm potencial para ser a primeira região em desenvolvimento a atingir o Objetivo de Fome Zero." Este livro reflete a aplicação desses princípios em escala local, promovendo soluções inovadoras que integram ciência, sustentabilidade e desenvolvimento no Nordeste do Brasil.

A realização do evento também se alinha com as discussões globais que serão aprofundadas na COP 30, que ocorrerá no Brasil em 2025. A relação entre mudanças climáticas, práticas agrícolas sustentáveis e segurança alimentar será central nessas discussões, e as pesquisas reunidas neste livro contribuem para esse debate, promovendo técnicas que aliam eficiência tecnológica, redução de impactos ambientais e desenvolvimento socioeconômico.

Cada capítulo desta obra reflete a aplicação prática e científica de métodos de processamento que valorizam matérias-primas regionais, como frutas tropicais (pitaya, maracujá, bacaba, cacau, mirtilo), subprodutos agroindustriais (cascas de frutas como banana), cereais como aveia, fermentados como kefir cremoso e bebidas como cachaça e leite. Assim destaco com detalhes cada capítulo:

Capítulo 01: Obtenção de suco em pó da polpa de bacaba (Oenocarpus bacaba Mart.): potencial tecnológico e bioativo - Explora a produção de suco em pó a partir da polpa de bacaba, destacando o potencial tecnológico e os benefícios bioativos do produto para o mercado alimentício.

Capítulo 02: Avaliação comparativa dos métodos térmico e químico para inativação enzimática em batatas e maçãs - Analisa os impactos dos processos de branqueamento na qualidade dos alimentos minimamente processados.

Capítulo 03: Extração sustentável de compostos fenólicos e atividade antioxidante da casca de Passiflora caerulea L. utilizando NADES e ultrassom - Apresenta abordagens modernas e sustentáveis para extração de compostos bioativos, maximizando o aproveitamento de subprodutos.

Capítulo 04: Avaliação da temperatura de secagem na produção de farinha a partir do coração da banana - Examina como diferentes temperaturas afetam a qualidade da farinha obtida de subprodutos da fruticultura.

Capítulo 05: Desenvolvimento de doce de banana com casca – Explora o aproveitamento integral e sustentável do fruto e destaca a economia circular e o aproveitamento integral da banana.

Capítulo 06: A influência da concentração de leveduras na formação de etanol e ésteres durante fermentação usando mostos de média densidade - Explora a otimização de processos fermentativos para bebidas alcoólicas.

Capítulo 07: Estabilidade de Lacticaseibacillus casei CSL3 durante o armazenamento refrigerado da bebida fermentada probiótica à base de extrato de aveia com cacau - Analisa a estabilidade de probióticos e seus impactos na funcionalidade das bebidas fermentadas.

Capítulo 08: Avaliação sensorial de kefir cremoso adicionado de frutas vermelhas aplicando o método Focus Group - Destaca a aceitação de produtos funcionais e probióticos.

Capítulo 09: Produção de exopolissacarídeos por Leuconostoc mesenteroides em uma bebida láctea fermentada com aveia - Aborda propriedades funcionais e texturais de exopolissacarídeos em produtos fermentados.

Capítulo 10: Bebida alcoólica mista à base de mel, pitaya e maracujá: inovação no mercado de fermentados - Promove o uso de frutas tropicais na produção de bebidas inovadoras.

Capítulo 11: Condições sanitárias e físico-químicas do leite cru comercializado em Lagoa Seca-PB - Discute segurança alimentar e regulamentação do leite cru no município.

Capítulo 12: Cocriação e validação de produtos lácteos híbridos – uma abordagem sensorial e emocional com consumidores - Apresenta o desenvolvimento de iogurte híbrido (leite e extrato vegetal de coco) por meio da cocriação com consumidores. Avalia a aceitação sensorial e as emoções evocadas com a técnica de Dominância Temporal de Emoções (TDE), destacando o equilíbrio entre inovação, sustentabilidade e familiaridade sensorial.

Capítulo 13: Ultrassonicação da polpa de mirtilo e seus impactos sobre os parâmetros de qualidade de iogurte tipo skyr - Investiga o uso de ultrassom de alta intensidade na polpa de mirtilo adicionada ao iogurte tipo skyr. Avalia efeitos na cor, compostos bioativos, reologia e perfil aromático, mostrando que potências intermediárias de ultrassom melhoram as propriedades funcionais e sensoriais do produto, superando a pasteurização convencional.

Este livro é uma fonte essencial de conhecimento para pesquisadores, estudantes e profissionais do setor, oferecendo um panorama das mais recentes inovações na produção de alimentos. Com grande satisfação, apresento esta obra, que será disponibilizada gratuitamente para apoiar a disseminação do conhecimento e estimular a pesquisa e a inovação sustentável no processamento de alimentos.

Marcelo Bregagnoli
Diretor de Desenvolvimento da Rede Federal da Educação Profissional, Científica e Tecnológica - BRASIL

SUMÁRIO

Capítulo 01 3

DOI: 10.53934/agronfy-2025-04-01 3

OBTENÇÃO DE SUCO EM PÓ DA POLPA DE BACABA (*Oenocarpus bacaba* Mart.): POTENCIAL TECNOLÓGICO E BIOATIVO 3

Capítulo 02 15

DOI: 10.53934/agronfy-2025-04-02 15

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DOS MÉTODOS TÉRMICO E QUÍMICO PARA INATIVAÇÃO ENZIMÁTICA EM BATATAS E MAÇÃS 15

Capítulo 03 22

DOI: 10.53934/agronfy-2025-04-03 22

EXTRAÇÃO SUSTENTÁVEL DE COMPOSTOS FENÓLICOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DA CASCA DE *Passiflora caerulea* L. UTILIZANDO NADES E ULTRASSOM 22

Capítulo 04 31

DOI: 10.53934/agronfy-2025-04-04 31

AVALIAÇÃO DA TEMPERATURA DE SECAGEM NA PRODUÇÃO DA FARINHA A PARTIR DE CORAÇÃO DE BANANA 31

Capítulo 05 43

DOI: 10.53934/agronfy-2025-04-05 43

DESENVOLVIMENTO DE DOCE DE BANANA COM CASCA: APROVEITAMENTO INTEGRAL E SUSTENTÁVEL DO FRUTO 43

Capítulo 06 55

DOI: 10.53934/agronfy-2025-04-06 55

A INFLUÊNCIA CONCENTRAÇÃO DE LEVEDURAS NA FORMAÇÃO DE ETANOL E ESTERES DURANTE FERMENTAÇÃO USANDO MOSTOS DE MÉDIA DENSIDADE 55

Capítulo 07 72

DOI: 10.53934/agronfy-2025-04-07 72

ESTABILIDADE DE *Lacticaseibacillus casei* CSL3 DURANTE O ARMAZENAMENTO REFRIGERADO DA BEBIDA FERMENTADA PROBIÓTICA À BASE DE EXTRATO DE AVEIA COM CACAU 72

Capítulo 08 85

DOI: 10.53934/agronfy-2025-04-08 85

AVALIAÇÃO SENSORIAL DE KEFIR CREMOSO ADICIONADO DE FRUTAS VERMELHAS APLICANDO O MÉTODO *FOCUS GROUP* 85

Capítulo 09 95

DOI: 10.53934/agronfy-2025-04-09 95

PRODUÇÃO DE EXOPOLISSACARÍDEOS POR *Leuconostoc mesenteroides* EM UMA BEBIDA LÁCTEA FERMENTADA COM AVEIA 95

Capítulo 10 106

DOI: 10.53934/agronfy-2025-04-10 106

BEBIDA ALCOÓLICA MISTA À BASE DE MEL, PITAYA E MARACUJÁ: INOVAÇÃO NO MERCADO DE FERMENTADOS 106

Capítulo 11 120

DOI: 10.53934/agronfy-2025-04-11 120

CONDIÇÕES SANITÁRIAS E FÍSICO-QUÍMICAS DO LEITE CRU COMERCIALIZADO EM LAGOA SECA-PB 120

Capítulo 12 133

DOI: 10.53934/agronfy-2025-04-12 133

COCRIAÇÃO E VALIDAÇÃO DE PRODUTOS LÁCTEOS HÍBRIDOS: UMA ABORDAGEM SENSORIAL E EMOCIONAL COM CONSUMIDORES 133

Capítulo 13 146

DOI: 10.53934/agronfy-2025-04-13 146

ULTRASSONICAÇÃO DA POLPA DE MIRTILO E SEUS IMPACTOS SOBRE OS PARÂMETROS DE QUALIDADE DE IOGURTE TIPO SKYR 146

Capítulo 01

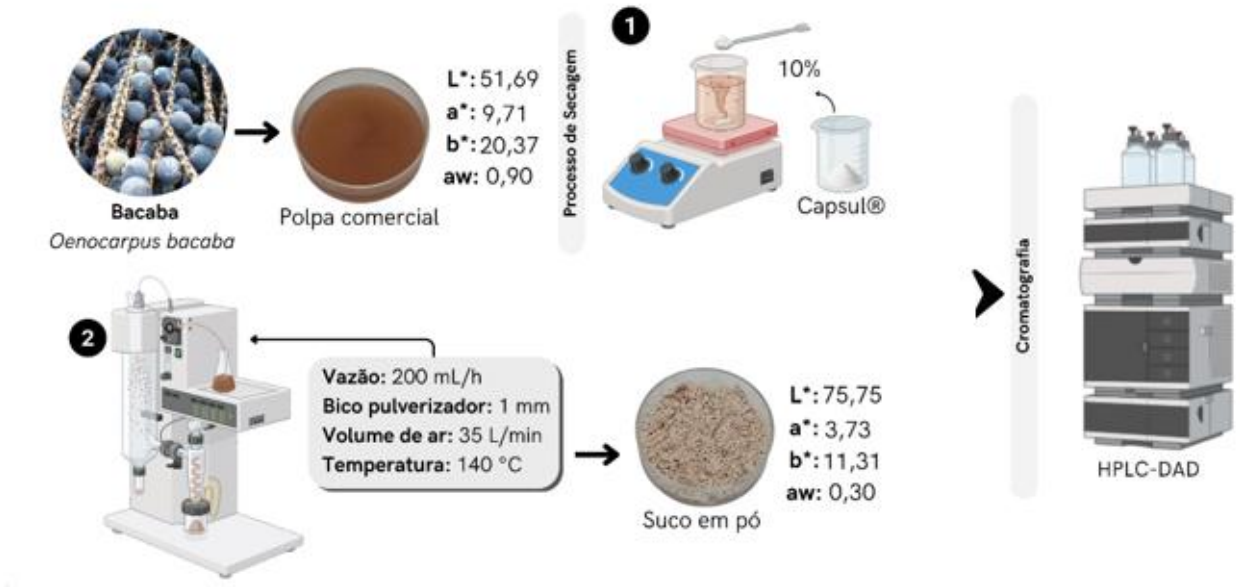
DOI: 10.53934/agronfy-2025-04-01

OBTENÇÃO DE SUCO EM PÓ DA POLPA DE BACABA (*Oenocarpus bacaba* Mart.): POTENCIAL TECNOLÓGICO E BIOATIVO

Ana Júlia de Brito A. Carvalho[1];
Larissa da Silva R. Fortaleza[1];
Isabella Dias da Silva[1]
Larissa Íris da Silva Monteiro.[2];
Marcos dos Santos Lima[1,2]

[1]Instituto Federal do Sertão Pernambucano, *Campus* Petrolina, Departamento de Tecnologia de Alimentos - Laboratório de Bebida e Cromatografia Líquida, Jardim São Paulo - CEP 56314-520, Petrolina, PE, Brasil.
[2]Universidade Federal da Paraíba, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Castelo Branco III - CEP 58059-900, João Pessoa, PB, Brasil.
*Email para correspondência: ana.julia@ifsertao-pe.edu.br

Resumo Gráfico



1 Introdução

Nos últimos anos, diversos estudos têm se dedicado a investigar o potencial tecnológico e funcional de frutas nativas dos biomas brasileiros (Carvalho, Barcia & Schmiele, 2025; Assis *et al.*, 2021; Dutra *et al.*, 2017). Na região Norte, o bioma

amazônico é predominante e se destaca por apresentar uma fauna diversificada, onde é possível encontrar mais de 35 gêneros e 170 espécies de palmeiras, com destaque para o açaí, o tucumã, o buriti e a bacaba (Soares *et al.*, 2024; Santos *et al.*, 2015).

A bacaba (*Oenocarpus bacaba* Mart.) é uma planta da família *Arecaceae*, encontrada principalmente nos estados do Amazonas e Pará. Uma das suas características mais notáveis é a longa temporada de colheita, que se estende de abril a dezembro, permitindo uma produção contínua ao longo do ano (Santos *et al.*, 2021). Os frutos da bacaba são bagas roxas, com polpa oleaginosa e mucilaginosa, de sabor suave. Sua comercialização é predominantemente regional, sendo utilizada na obtenção de sucos, bebidas, geleias e sorvetes (Cól *et al.*, 2021; Soares *et al.*, 2024).

Essa fruta tem atraído a atenção dos pesquisadores, devido ao seu potencial bioativo, especialmente relacionado à sua composição fenólica (Finco *et al.*, 2012). O estudo de Carvalho *et al*. (2016) quantificou diversos fenólicos nessa fruta exótica, e revelou teores significativos de epicatequina e rutina, superiores aos encontrados em outras frutas da mesma família.

O processamento de frutas para a obtenção de polpas é uma das principais técnicas empregadas pela indústria para prolongar a vida útil desses alimentos, além de preservar suas características sensoriais e nutricionais (Assis *et al.*, 2021). No entanto, a polpa da bacaba apresenta uma certa perecibilidade e é especialmente suscetível à oxidação devido à sua composição rica em lipídios (Nascimento *et al.*, 2019).

Em vista disso, diversos estudos têm investigado técnicas de secagem dessa matéria-prima como alternativas viáveis, com destaque para a liofilização (Santos *et al.*, 2021), a secagem por camada de espuma (Cól *et al.*, 2021) e a secagem por leito de jorro (Nascimento *et al.*, 2019). Essas abordagens têm se mostrado eficazes, pois não apenas promovem a concentração dos componentes da polpa, como também preservam seus compostos nutricionais e bioativos. Além disso, aumentam a vida útil do produto, oferecem versatilidade na aplicação e reduzem os custos relacionados ao armazenamento e transporte (Cól *et al.*, 2021).

Entretanto, as principais limitações dessas técnicas estão associadas ao tempo de execução e aos custos envolvidos no processo. A secagem por *spray dryer*, ou atomização, diferente de outros métodos de secagem, se destaca pela sua ampla aplicabilidade, sendo uma técnica consolidada em diversas indústrias. Além disso, seus principais diferenciais incluem a alta eficiência de secagem, promoção de estabilidade,

preservação de compostos termossensíveis, aumento da produtividade, rapidez no processo e redução de custos (Silva *et al.*, 2023; Acosta-Vega *et al.*, 2023).

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a cor, atividade de água, perfil de ácidos orgânicos, açúcares e compostos fenólicos por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC) da polpa da bacaba *in natura* e em pó obtido por secagem em *spray dryer*, como alternativa viável de agregação de valor e ampliação de mercado para outras regiões.

2 Metodologia

2.1 Materiais, reagentes químicos e padrões externos

A polpa de bacaba (*Oenocarpus bacaba* Mart.) utilizada neste estudo foi adquirida no mercado local da cidade de Zé Doca, Maranhão, Brasil. Sendo transportado para o Laboratório Experimental de Alimentos (LEA) do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Sertão Pernambucano (IFSertãoPE), Campus Petrolina, PE, Brasil, armazenado sob congelamento (-18 ± 1 °C) até a realização do experimento.

Para o preparo de soluções foi utilizada água ultrapura obtida por ultrapurificador Merck Millipore® (Massachusetts, EUA). O metanol grau HPLC empregado no processo de extração e análise do perfil de fenólicos foi adquirido na Riedel-de Haën™ (Seelze, Alemanha), assim como o ácido *O*-fosfórico e sulfúrico.

Os padrões externos de açúcares (glicose, frutose e ramnose) foram adquiridos da Sigma-Aldrich (Missouri, EUA). Os ácidos orgânicos (cítrico, tartárico, málico, succínico, fórmico, acético e propiônico) foram fornecidos pela Química Vetec (Rio de Janeiro, Brasil). Todos os ácidos fenólicos analisados, incluindo o gálico, siríngico, trans-caftárico, clorogênico, cafeico e p-cumárico, foram obtidos da Sigma-Aldrich (Missouri, EUA). O estilbeno resveratrol nas conformações cis e trans foi fornecido pela Cayman Chemical Company (Michigan, EUA). As procianidinas (B1, B2 e A2), catequina, epicatequina, epicatequina galato, epigalocatequina galato, quercetina 3-glucosídeo, isorhamnetina 3-glucosídeo, miricetina e rutina foram adquiridos da Extrasynthese (Genay, França).

2.2 Secagem por atomização

A secagem da polpa comercial de bacaba para a obtenção do suco em pó foi realizada utilizando o equipamento *spray dryer* modelo MSDi 1.0, da Labmaq (São

Paulo, Brasil). Adicionou-se uma proporção de 10% (m/v) de agente encapsulante Capsul® à amostra, que foi então seca sob as seguintes condições: vazão da amostra de 200 mL/h, bico pulverizador de 1 mm, fluxo de ar de secagem de 35 L/min e temperatura de secagem de 140 °C.

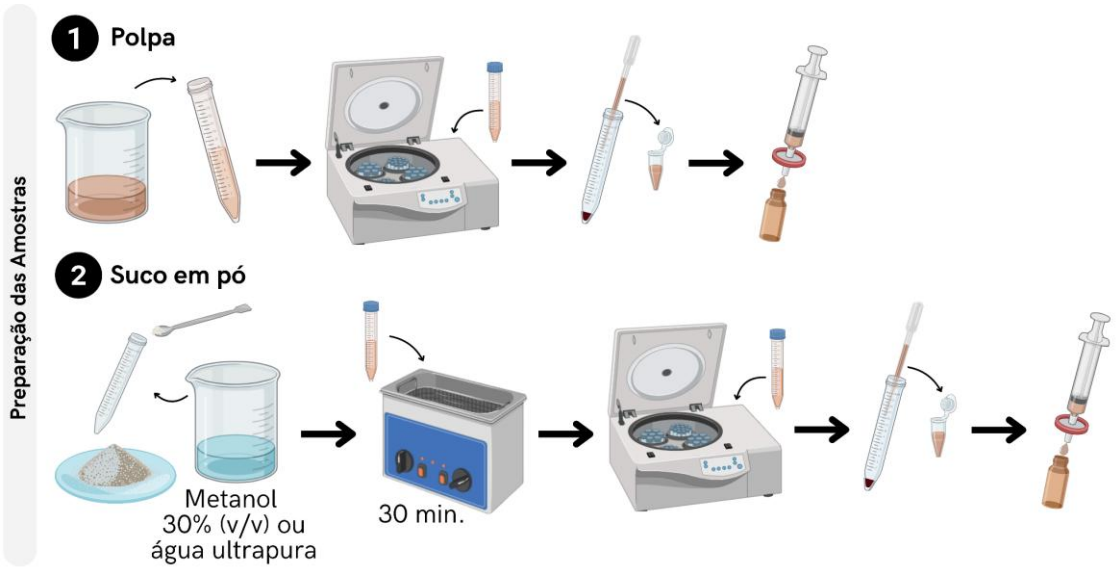
2.3 Análises de cor instrumental e atividade de água (A_w)

A polpa comercial de bacaba e o suco em pó obtido por atomização (*spray drying*) foram analisados quanto aos parâmetros de cor instrumental e atividade de água (A_w). A determinação da cor foi realizada utilizando o sistema CIELab, por meio de um espectrofotômetro digital portátil (MiniScan 4500L, HunterLab XE Plus). Para a determinação da atividade de água (A_w), utilizou-se um medidor portátil de atividade de água (modelo WA-60A).

2.4 Pré-tratamento das amostras para as análises cromatográficas

O processo de preparação das amostras de polpa e suco em pó para a determinação de ácidos orgânicos, açúcares e compostos fenólicos está representado na Figura 1.

Figura 1 - Esquema das etapas de pré-tratamento das amostras de polpa e suco em pó de bacaba para análise cromatográfica.



Fonte: Próprio Autor (2025).

Para todas as análises de caracterização da polpa, as amostras foram centrifugadas a 4000 rpm por 15 minutos, com o objetivo de separar as frações proteica, aquosa e lipídica. Após esse processo, somente a fração aquosa foi recolhida e filtrada para posterior injeção.

O suco em pó foi ressuspendido em água ultrapura na proporção de 1:5 (m/v) para as análises de ácidos orgânicos e açúcares. Em seguida, as amostras foram centrifugadas, e o sobrenadante foi recolhido e filtrado. Para a determinação de compostos fenólicos, foi adotado o mesmo procedimento, sendo que, na fase de ressuspensão utilizou-se uma solução metanólica a 30% (v/v) na proporção de 1:5 (m/v).

2.5 Análises cromatográficas da polpa e suco em pó da bacaba

Para a caracterização da polpa e do suco em pó da bacaba, utilizou-se um cromatógrafo líquido de alta eficiência (CLAE), modelo 1260 Infinity LC (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EUA), acoplado aos detectores de arranjo de diodos (DAD) (modelo G1315D) e de índice de refração (RID) (modelo G1362A). O equipamento é equipado com uma bomba quaternária (modelo G1311C) com sistema de degase, forno termostatizado para coluna (modelo G1316A) e injetor automático de amostras (modelo G1329B). Todos os dados referentes aos resultados das análises

foram processados utilizando o software OpenLAB CDS ChemStation Edition™ da Agilent Technologies.

2.5.1 Determinação simultânea de ácidos orgânicos e açúcares.

A caracterização dos analitos na matriz analisada foi realizada conforme o método validado por Coelho *et al.* (2018). A separação dos compostos ocorreu em uma coluna de troca iônica Agilent Hi-Plex H (300 x 7,7 mm, 8,0 µm), precedida por uma coluna de guarda PL Hi-Plex H (5 x 3 mm), desenvolvida pela mesma empresa. A coluna foi mantida a 70 °C durante a análise. Um volume de 10 µL da amostra foi eluído pelo sistema utilizando um gradiente isocrático composto por uma solução de água acidificada a 4 mM/L de ácido sulfúrico, com vazão de 0,5 mL/min. Ademais, a célula de fluxo do RID foi mantida a 50 °C.

2.5.2 Análise do perfil de compostos fenólicos

O método utilizado nesse estudo para a determinação dos compostos fenólicos foi desenvolvido por Padilha *et al.* (2017). A separação foi realizada em uma coluna de fase reversa Zorbax Eclipse Plus C18 (100 x 4,6 mm, 3,5 µm), acoplada a uma pré-coluna Zorbax C18 (12,6 x 4,6 mm, 5 µm). A coluna foi mantida a 40°C, e o volume de amostra utilizado foi de 20 µL. O gradiente de eluição empregado foi o seguinte: 0–5 min: 5% B; 5–14 min: 23% B; 14–22 min: 26% B; 22–25 min: 80% B. A fase A consistia em uma solução de ácido *O*-fosfórico 0,1 M, enquanto a fase B era composta por metanol com 0,5% de ácido *O*-fosfórico.

2.6 Análise Estatística

Todo o experimento foi realizado em triplicata (n = 3) e os dados obtidos foram analisados em termos de média e desvio padrão utilizando os *softwares* Microsoft Excel® (Washington, EUA) e SPSS Statistics versão 20.0 para Windows®(Chicago, EUA).

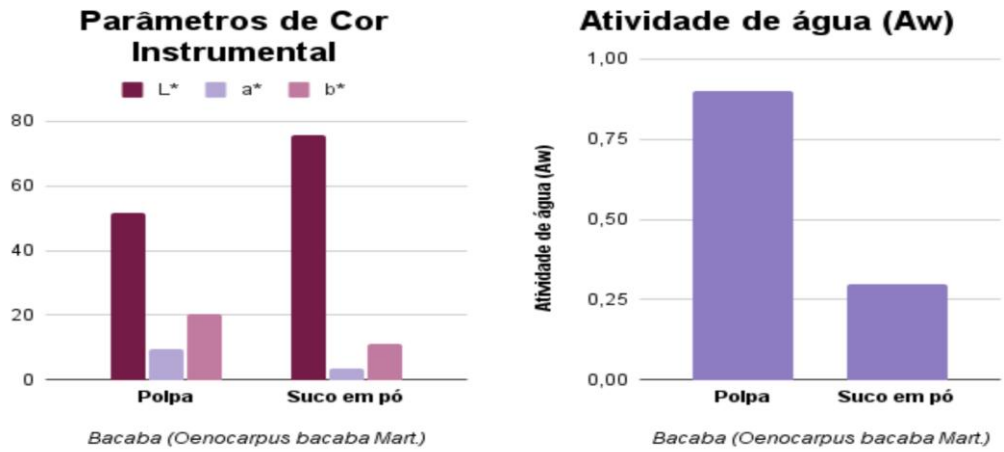
3 Resultados e discussões

3.1 Análise de cor e atividade de água (A_w)

Os resultados referentes aos parâmetros de cor instrumental e à atividade de água (A_w) estão graficamente representados na Figura 2. É possível observar que o suco em pó obtido apresentou luminosidade superior à polpa *in natura* (L* = 75,75),

valores que caracterizam o aspecto mais claro do pó em comparação com a polpa. No entanto, as coordenadas a* (com tendência ao verde, a-, e ao vermelho, a+) e b* (com tendência ao azul, b-, e ao amarelo, b+) mostraram valores inferiores, variando de 3,73 a 11,31. Esses resultados indicam cromaticidade vermelha (a > 0) e amarela (b > 0).

Figura 2 - Parâmetros de cor instrumental (L*, a*, b*) e atividade de água (A_w) da polpa e suco em pó de bacaba



Fonte: Próprio autor (2025).

No processo de secagem por atomização, duas variáveis principais que podem influenciar a coloração da amostra são a temperatura de entrada e a proporção de agente encapsulante (Zhang *et al.*, 2025). Por exemplo, Siacor *et al.* (2020) observaram que, à medida que a concentração de maltodextrina aumentava (de 0% a 8%), as coordenadas L* aumentavam, enquanto a* e b* diminuíam. Essa alteração foi atribuída ao processo de diluição causado pela adição do agente encapsulante e à quantidade de sólidos na amostra. Esses resultados estão em concordância com os obtidos no presente estudo, reforçando que a modificação na luminosidade e cromaticidade de amostras secas por atomização é um fenômeno característico desse processo.

A A_w é um parâmetro importante para alimentos, pois indica a quantidade de água disponível para reações químicas, enzimáticas e microbiológicas (Acosta-Vega *et al.*, 2023). No presente estudo, os valores de A_w variaram de 0,90 para a polpa *in natura* a 0,30 para o suco em pó, o que demonstra que a técnica de *spray drying* favoreceu a redução da quantidade de água livre, obtendo-se valores desejáveis. Em outros estudos que avaliaram a secagem por atomização, foram encontrados valores de A_w variando de 0,25 a 0,58 (Vargas *et al.*, 2024; Silva *et al.*; 2023). Assim, a técnica de secagem aplicada à polpa de bacaba foi eficiente na obtenção de um suco em pó com

maior estabilidade, quando comparado à polpa *in natura* (A_w = 0,90), tornando o suco em pó da bacaba uma alternativa de produto mais estável, com menos susceptibilidade a degradações químicas, enzimáticas e microbiológicas.

3.2 Perfil de ácidos orgânicos e açúcares na polpa e suco em pó de bacaba

O perfil de ácidos orgânicos e açúcares da polpa *in natura* e do suco em pó de bacaba estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Determinação do perfil de ácidos orgânicos e açúcares na polpa e suco em pó de bacaba

Compostos (g/kg)	**Bacaba (*Oenocarpus bacaba* Mart.)**	
	Polpa *in natura*	**Suco em pó**
Ácidos orgânicos		
Ácido cítrico	0,56 ± 0,12	3,44 ± 0,04
Ácido tartárico	0,32 ± 0,09	ND
Ácido málico	0,73 ± 0,03	1,17 ± 0,03
Ácido fórmico	0,10 ± 0,01	0,65 ± 0,00
Ácido acético	0,13 ± 0,03	ND
Ácido propiônico	0,14 ± 0,08	ND
Σ Ácidos orgânicos	**1,98**	**5.26**
Açúcares		
Glicose	0,64 ± 0,03	2,36 ± 0,00
Frutose	0,25 ± 0,00	2,45 ± 0,02
Ramnose	0,94 ± 0,01	ND
Σ Açúcares	**1,83**	**4,81**

ND = Não detectado. Fonte: Próprio autor (2025).

Os principais ácidos encontrados em ambas as amostras foram ácidos cítricos (0,56 - 3,44 g/kg) e o ácido málico (0,73 - 1,17 g/kg), para polpa *in natura* e o suco em pó, respectivamente. O suco em pó (5.26 g/kg) apresentou uma quantidade superior de ácidos orgânicos em relação à da polpa *in natura* (1.98 g/kg), em decorrência do processo de secagem.

Os ácidos orgânicos e os açúcares desempenham um papel fundamental no sabor das frutas e seus produtos, nesse contexto, avaliar a composição e os teores desses compostos é essencial (Zhang *et al.*, 2020), pois promove conhecimento sobre o potencial do produto.

Em relação aos açúcares, o processo de concentração é observado para a maioria das substâncias. Na polpa, as principais moléculas encontradas foram a ramnose (0,94 ± 0,01 g/kg) e a glicose (0,64 ± 0,03 g/kg). No entanto, após a secagem, a ramnose não foi detectada no suco em pó, os açucares glicose (2,36 ± 0,00 g/kg) e

frutose (2,45 ± 0,02 g/kg) tornaram-se os açúcares majoritários. De maneira geral, o processo de secagem impacta as quantidades de ácidos orgânicos e açúcares, seja pelo aumento da concentração dessas substâncias ou por possíveis degradações e/ou transformações. Isso ocorre principalmente devido às altas temperaturas e à redução da A_w (Mongi & Ngoma, 2022).

Existem poucos estudos que investigam a composição de ácidos orgânicos e açúcares na polpa *in natura* e desidratada da bacaba. A maioria das pesquisas sobre a secagem dessa fruta concentra-se em parâmetros físico-químicos, composição centesimal e morfologia (Cól *et al.*, 2021; Santos *et al.*, 2021). Nesse sentido, o presente estudo se diferencia ao explorar aspectos mais específicos da composição molecular dessa matéria-prima.

3.3 Caracterização dos compostos fenólicos da polpa e suco em pó de bacaba

A caracterização do perfil de compostos fenólicos do presente estudo para a polpa *in natura* e o suco em pó de bacaba, está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Compostos fenólicos determinados na polpa e suco em pó de bacaba

Compostos (mg/kg)	**Bacaba (*Oenocarpus bacaba* Mart.)**	
	Polpa	**Suco em pó**
Ácidos fenólicos		
Ácido gálico	0,16 ± 0,01	9,83 ± 0,43
Ácido siríngico	0,04 ± 0,01	0,19 ± 0,01
Ácido trans-caftárico	2,52 ± 0,09	0,29 ± 0,02
Ácido clorogênico	ND	0,56 ± 0,43
Ácido cafeíco	0,04 ± 0,00	0,07 ± 0,01
Ácido *p*-cumárico	1,28 ± 0,19	ND
Estilbenos		
Cis-resveratrol	1,48 ± 0,09	2,36 ± 0,09
Trans-resveratrol	ND	0,29 ± 0,02
Flavanóis		
Catequina	ND	0,65 ± 0,02
Epicatequina	0,82 ± 0,02	0,39 ± 0,05
Epigalocatequina Galato	ND	0,17 ± 0,05
Epicatequina Galato	ND	0,21 ± 0,02
Proantocianidinas		
Procianidina B1	0,11 ± 0,00	0,06 ± 0,02
Procianidina B2	0,67 ± 0,02	0,40 ± 0,01
Procianidina A2	0,46 ± 0,04	0,67 ± 0,03
Flavonóis		
Miricetina	0,11 ± 0,11	18,57 ± 1,96

Quercetina 3-glucosídeo	ND	0,25 ± 0,10
Rutina	0,04 ± 0,01	ND
Isorhamnetina	0,12 ± 0,04	0,34 ± 0,09
Σ Total de fenólicos quantificado	**7,85**	**35,30**

ND = Não detectado. Fonte: Próprio autor (2025).

O perfil de compostos fenólicos do suco em pó (Tabela 2) apresentou concentração total superior (35,30 mg/kg) ao encontrado para polpa *in natura* (7,85 mg/kg), além da quantidade de substâncias identificadas, sendo 17 compostos para o suco em pó e 13 para polpa *in natura*. Destacando-se a miricetina (18,57 ± 1,96) e ácido gálico (9,83 ± 0,43), como compostos majoritários para o suco em pó. Sendo notório que o processo de secagem por atomização (*spray drying)* preservou e proporcionou o aumento da maioria dos compostos fenólicos.

Carvalho *et al.* (2016) também destacou os compostos fenólicos como os principais responsáveis pela bioatividade da bacaba, onde foram identificados 3,4-dihidroxibenzóico (2,66 - 7,61 mg/kg), ácido siríngico (1,94 - 3,53 mg/kg), epicatequina (15,5 - 21,2 mg/kg), ácido ferúlico (4,77 - 10,8 mg/kg) e rutina (15,2 - 56,8 mg/kg), valores correspondendo a polpa *in natura* e o suco em pó de bacaba, respectivamente.

Os resultados sugerem que as condições de secagem e a proporção de Capsul® (agente encapsulante) utilizadas neste experimento foram adequadas para o objetivo proposto. A preservação dos compostos bioativos durante a secagem por atomização é resultado da interação entre essas substâncias e os agentes encapsulantes, mesmo diante de altas temperaturas, a utilização de agente encapsulante tende a proteger os compostos bioativos, melhorando sua estabilidade (Silva *et al.*, 2023).

Outros estudos que avaliaram o impacto da técnica de secagem em diferentes matrizes alimentares observaram que a fortificação de seus componentes foi alcançada, destacando essa característica como uma das principais vantagens desse processamento (Nascimento *et al.*, 2019; Santos *et al.*, 2021; Cól *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2023). Assim, a secagem por atomização da polpa de bacaba para obtenção do suco em pó evidenciou o potencial tecnológico e bioativo desse fruto nativo, proporcionando a diversificação das possibilidades de processamento.

4 Considerações finais

O presente estudo permitiu caracterizar a polpa comercial da bacaba *in natura* e o suco em pó. O produto obtido apresentou coloração característica e baixa atividade

de água, a identificação e quantificação dos ácidos orgânicos, açucares e compostos fenólicos, demonstraram que o processo de secagem por atomização favoreceu a concentração e a preservação dos principais componentes, resultando em um produto estável e com valores significativos de compostos bioativos, representando uma alternativa viável para agregar valor, ampliar a oferta de produtos e expandir as possibilidades de mercado.

5 Referências

Acosta-Vega, L., et al. (2023). Optimization of the encapsulation process of Cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) pulp by spray drying as an alternative for the valorization of Amazonian fruits. *LWT, 184*, 114994. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114994

Assis, B. B. T., et al. (2021). Biotransformation of the Brazilian Caatinga fruit-derived phenolics by *Lactobacillus acidophilus* La-5 and *Lacticaseibacillus casei* 01 impacts bioaccessibility and antioxidant activity. *Food Research International, 146*, 110435. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110435

Carvalho, A. V., et al. (2016). Phenolic composition and antioxidant capacity of bacaba-de-leque (*Oenocarpus distichus* Mart.) genotypes. *Journal of Food Composition and Analysis, 54*, 1-9. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.09.013

Carvalho, H. J. M., Barcia, M. T., & Schmiele, M. (2025). Underexploited fruits from the Brazilian Cerrado: Biodiversity, phenolic composition and biological activities. *Food Bioscience*, 106269. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.106269

Coelho, E. M., et al. (2018). Simultaneous analysis of sugars and organic acids in wine and grape juices by HPLC: Method validation and characterization of products from northeast Brazil. *Journal of Food Composition and Analysis, 66*, 160-167. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.12.017

Cól, C. D., et al. (2021). Foam-mat drying of bacaba (*Oenocarpus bacaba*): Process characterization, physicochemical properties, and antioxidant activity. *Food and Bioproducts Processing, 126*, 23-31. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.12.004

Dutra, R. L. T., et al. (2017). Bioaccessibility and antioxidant activity of phenolic compounds in frozen pulps of Brazilian exotic fruits exposed to simulated gastrointestinal conditions. *Food Research International, 100*, 650-657. http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.047

Mongi, R. J., & Ngoma, S. J. (2022). Effect of solar drying methods on proximate composition, sugar profile and organic acids of mango varieties in Tanzania. *Applied Food Research, 2*(2), 100140. https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100140

Nascimento, R. A., et al. (2019). Bacaba powder produced in spouted bed: An alternative source of bioactive compounds and energy food product. *Brazilian Journal of Food Technology, 22*, e2018229. https://doi.org/10.1590/1981-6723.22918

Padilha, C. V. S., et al. (2017). Rapid determination of flavonoids and phenolic acids in grape juices and wines by RP-HPLC/DAD: Method validation and characterization of commercial products of the new Brazilian varieties of grape. *Food Chemistry, 228*, 106-115. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.137

Santos, M. F. G., et al. (2015). Amazonian native palm fruits as sources of antioxidant bioactive compounds. *Antioxidants, 4*(3), 591-602. https://doi.org/10.3390/antiox4030591

Santos, O. V., et al. (2021). Industrial potential of bacaba (*Oenocarpus bacaba*) in powder: Antioxidant activity, spectroscopic and morphological behavior. *Food Science and Technology, 42*, e62820. https://doi.org/10.1590/fst.62820

Siacor, F. D. C., et al. (2020). Physicochemical properties of spray-dried mango phenolic compounds extracts. *Journal of Agriculture and Food Research, 2*, 100048. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100048

Silva, J. J., et al. (2023). Encapsulation of açaí (*Euterpe oleracea*) pulp with whey protein isolate by spray-drying: An optimization study using response surface methodology (RSM). *Food and Humanity, 1*, 1539-1546. https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.10.019

Silveira, T. F., et al. (2020). Effect of solvent composition on the extraction of phenolic compounds and antioxidant capacity of bacaba juice (*Oenocarpus bacaba* Mart.). *Food Analytical Methods, 13*, 1119-1128. https://doi.org/10.1007/s12161-020-01726-2

Soares, S. D., et al. (2024). Trends in the valorization of native Amazon palm trees as sources of bioactive lipids for use as functional ingredients. *Trends in Food Science & Technology*, 104777. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104777

Vargas, V., et al. (2024). Effects of the spray-drying process using maltodextrin on bioactive compounds and antioxidant activity of the pulp of the tropical fruit açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). *Heliyon, 10*(13), e33544. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33544

Zhang, J., et al. (2020). Evaluation of sugar and organic acid composition and their levels in highbush blueberries from two regions of China. *Journal of Integrative Agriculture, 19*(9), 2352-2361. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63236-1

Zhang, X., et al. (2025). Expanding the potential of persimmon (*Diospyros kaki* L. cv. Mopan): A promising strategy for the development of stable spray-dried Mopan persimmon pulp powder with high nutritional value. *Food Chemistry*, 143493. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.143493

Capítulo 02

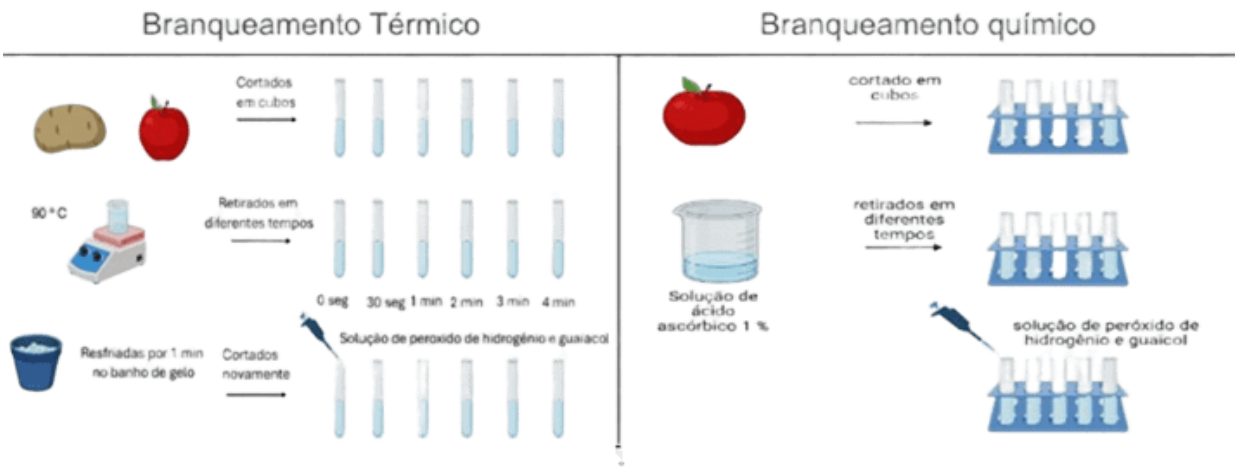
DOI: 10.53934/agronfy-2025-04-02

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DOS MÉTODOS TÉRMICO E QUÍMICO PARA INATIVAÇÃO ENZIMÁTICA EM BATATAS E MAÇÃS

Emanuelly de Carvalho[1];
Leandro Castilho[1];
Josemar de Oliveira Filho[2];
Larissa Duarte[1].

[1]Instituto Federal do Sul de Minas - Campus Machado
[2]Embrapa Instrumentação
*E-mail para correspondência: larissa.duarte@ifsuldeminas.edu.br

Resumo gráfico



1 Introdução

O branqueamento é uma etapa essencial na indústria alimentícia para preservar a qualidade de frutas e hortaliças (Sayed & Sampers, 2023). Esse processo inativa enzimas como a peroxidase e a polifenoloxidase, responsáveis por alterações como escurecimento enzimático e mudanças na textura e no sabor dos alimentos (Reis, 2023). De acordo com Silva et al. (2020), "essas alterações comprometem a aparência e a aceitação do produto, além de reduzir sua vida útil" (p. 45). Assim, o branqueamento contribui para a manutenção das propriedades sensoriais e nutricionais, sendo indispensável para atender às demandas da indústria e do consumidor. Os métodos de branqueamento mais utilizados são o térmico e o químico, cada um com vantagens específicas (Cosmo et al., 2017).

O branqueamento térmico é eficaz em alimentos com textura firme, como batatas, devido à maior penetração do calor e consequente inativação enzimática (Costa da Silva et al., 2017). Já o branqueamento químico, utilizando ácido ascórbico, destaca-se em frutas sensíveis, como maçãs, preservando a textura e a aparência natural, mesmo em alimentos com maior teor de água e resistência térmica (Carvalho et al., 2021). Segundo Carvalho et al. (2021): O branqueamento químico é particularmente eficiente para alimentos ricos em água, como maçãs, garantindo a inativação enzimática e mantendo a qualidade sensorial (p. 78).

Embora eficazes, ainda há lacunas sobre a eficiência comparativa desses métodos em alimentos com características distintas. Este estudo busca comparar o branqueamento térmico e químico na inativação de peroxidase e polifenoloxidase em batatas e maçãs. No método térmico, os alimentos foram submetidos a 90°C por tempos de 30 segundos a 4 minutos, com resfriamento em água gelada. No químico, utilizou-se ácido ascórbico (1%) por até 3 minutos, avaliando-se a ausência de mudanças de cor como indicador de sucesso.

Os resultados deste estudo visam contribuir para a escolha de técnicas mais adequadas no processamento de frutas e hortaliças, auxiliando a indústria na preservação da qualidade sensorial e funcionalidade dos alimentos, além de aumentar sua vida útil.

2 Metodologia

1. **Material Utilizado:** o estudo foi realizado com batatas (*Solanum tuberosum*) e maçãs (*Malus domestica*) adquiridas em um mercado local, selecionadas com base na uniformidade de tamanho, grau de maturação e ausência de danos visíveis.
2. **Processos de Preparação do Material:** as batatas e maçãs foram lavadas em água corrente, sanitizadas por 15 minutos e enxaguadas com água destilada. Posteriormente, foram descascadas e cortadas em fatias uniformes de 1 cm de espessura e 5 cm de comprimento para garantir uniformidade experimental.
3. **Branqueamento Térmico:** as fatias foram imersas em água a 90°C, aquecida em um béquer de 1000 mL com 500 mL de água destilada, utilizando um banho-maria. Os tempos de exposição variaram de 30 segundos a 4 minutos. Após o branqueamento, as amostras foram resfriadas em água gelada (0-4°C) por

aproximadamente 1 minuto, interrompendo o cozimento e estabilizando as amostras para as análises.

4. **Branqueamento Químico:** uma solução de ácido ascórbico a 1% foi preparada utilizando água destilada. As fatias de maçãs e batatas foram imersas na solução por tempos que variaram entre 30 segundos e 3 minutos. Após a imersão, as amostras foram lavadas com água destilada para remover resíduos químicos e resfriadas em banho de gelo.
5. **Análises Enzimáticas:** as amostras foram submetidas à análise da atividade residual das enzimas peroxidase e polifenoloxidase. O teste com guaiacol foi realizado adicionando 0,5% de guaiacol e 0,03% de peróxido de hidrogênio às amostras. A formação de coloração marrom indicou atividade enzimática residual. A intensidade da coloração foi avaliada qualitativamente.
6. **Divisão das Amostras:** as amostras foram divididas em dois grupos principais; grupo 1: amostras submetidas ao branqueamento térmico, com diferentes tempos de exposição (30 segundos a 4 minutos) e grupo 2: amostras submetidas ao branqueamento químico, utilizando ácido ascórbico a 1% em diferentes tempos (30 segundos a 3 minutos).
7. **Complemento dos Procedimentos:**

   7.1 Batatas: O branqueamento térmico foi realizado para avaliar a eficiência da transferência de calor na inativação das enzimas, sendo as amostras analisadas quanto à intensidade de cor resultante após o teste com guaiacol.

   7.2 Maçãs: O branqueamento químico com ácido ascórbico foi avaliado para verificar sua eficácia antioxidante, especialmente em relação ao escurecimento enzimático.

O estudo permitiu comparar os métodos de branqueamento em alimentos com características distintas, fornecendo insights sobre a escolha do método mais apropriado para preservar a qualidade sensorial e funcional de cada um dos produtos. A padronização das condições experimentais garantiu a confiabilidade e a reprodutibilidade dos resultados obtidos.

3. Resultados e discussões

O branqueamento térmico foi eficaz na inativação da enzima peroxidase nas batatas. Após 3 a 4 minutos de imersão em água a 90°C, observou-se uma redução

significativa na coloração resultante do teste com guaiacol, o que indicou uma atividade enzimática residual mínima. A coloração marrom, presente nas amostras expostas por menos de 2 minutos, desaparece completamente nos tempos de 3 a 4 minutos, evidenciando a eficiência do tratamento térmico para inativar a peroxidase.

Por outro lado, o branqueamento térmico não foi eficaz para as maçãs, mesmo após tempos prolongados de imersão. A textura mais macia e o alto teor de água das maçãs dificultaram a transferência de calor necessária para a desnaturação enzimática. Em contraste, o tratamento químico com ácido ascórbico a 1% foi altamente eficiente, já que em apenas 30 segundos de imersão, observou-se uma redução significativa na coloração marrom, indicando a inativação das enzimas peroxidase e polifenoloxidase.

Os resultados obtidos confirmam a eficácia do branqueamento térmico para batatas, especialmente considerando a firmeza da textura e o baixo teor de água, que favorecem a transferência de calor e, consequentemente, uma desnaturação enzimática mais eficiente. Esses achados estão alinhados com os de Silva e Lima (2019), que também observaram inativação completa da peroxidase em batatas submetidas ao branqueamento térmico em condições semelhantes.

Em contraste, o tratamento térmico mostrou-se ineficaz para as maçãs, o que pode ser explicado pela textura mais macia e pelo alto teor de água da fruta, que dificultam a transferência de calor necessária para a inativação enzimática. O uso do ácido ascórbico como agente antioxidante demonstrou ser uma solução eficaz para essas frutas, confirmando os achados de Souza et al. (2021), que destacaram o ácido ascórbico como um antioxidante eficiente em frutas de alta umidade. A rápida ação do ácido ascórbico em apenas 30 segundos de imersão foi suficiente para inativar as enzimas peroxidase e polifenoloxidase, o que é um resultado interessante e prático, principalmente em processos industriais.

De acordo com Silva e Lima (2019), o tempo de branqueamento é influenciado por fatores como o tipo de hortaliça, o tamanho dos pedaços, a temperatura de branqueamento e o método de aquecimento. Nesse contexto, observa-se que o branqueamento térmico é especialmente indicado para hortaliças com textura firme, como as batatas, devido à sua eficiência na inativação enzimática e na preservação da qualidade.

Conforme Gonçalves et al. (2010), quando realizado de forma eficiente, o processo de branqueamento pode proporcionar benefícios significativos, como a destruição parcial de microrganismos, a remoção do ar interno, a melhoria da textura e

o realce da coloração, sendo também uma etapa importante para produtos destinados à desidratação. Isso sugere que os métodos de branqueamento devem ser adaptados às características específicas dos alimentos para garantir a eficácia do processo.

Complementando essas observações, Njoroge et al. (2015) destacam que o tempo e a temperatura de branqueamento são determinantes para a qualidade nutricional e microbiana de vegetais folhosos indígenas, especialmente quando combinados com secagem solar. O estudo revelou que o controle preciso dessas variáveis pode melhorar significativamente a preservação da qualidade nutricional e reduzir o crescimento microbiano, corroborando a importância da adaptação dos parâmetros do processo conforme o tipo de produto.

Além disso, se observou diferenças significativas entre os tempos de tratamento nos dois métodos. Para as batatas, o tempo ideal de imersão foi de 4 minutos, enquanto para as maçãs, 1 minuto de imersão em ácido ascórbico foi suficiente para inativar as enzimas. Esses dados sugerem que o controle rigoroso do tempo de imersão é fundamental para garantir a eficácia do tratamento, e a personalização dos métodos para cada tipo de alimento pode levar a melhores resultados e maior eficiência no processamento.

É importante destacar que, embora o branqueamento térmico tenha sido eficaz para as batatas, a literatura aponta que sua eficiência pode ser limitada em alimentos com maior teor de água ou textura macia, como frutas mais maduras. Isso sugere que a escolha do método de branqueamento deve levar em consideração o estágio de desenvolvimento e a composição química dos alimentos, como discutido por Silva e Lima (2019) e Souza et al. (2021).

4 Considerações Finais

O estudo demonstrou que tanto o branqueamento térmico quanto o químico são métodos eficazes para inativar enzimas responsáveis pelo escurecimento enzimático, mas sua eficácia varia conforme as características dos alimentos. O branqueamento térmico se mostrou altamente eficiente para batatas, com inativação completa das enzimas peroxidase e polifenoloxidase em 3 a 4 minutos de tratamento a 90°C. Isso é atribuído à textura firme e ao menor teor de água das batatas, que favorecem a transferência de calor e a desnaturação das enzimas. Em contrapartida, para as maçãs, o branqueamento térmico não foi suficiente, sendo o branqueamento químico com

ácido ascórbico mais eficaz, inativando as enzimas em um curto intervalo de tempo, entre 30 segundos e 1 minuto, devido à sua ação antioxidante.

Esses resultados reforçam a importância de adaptar o método de branqueamento às características físicas e químicas dos alimentos, a fim de garantir a preservação da qualidade sensorial e o prolongamento da vida útil. O uso de ácido ascórbico para frutas como maçãs, por exemplo, oferece uma alternativa eficaz, enquanto o branqueamento térmico é mais indicado para hortaliças como batatas.

A pesquisa contribui significativamente para a compreensão da eficácia dos métodos de branqueamento e suas aplicações na indústria alimentícia, com potencial para otimizar processos industriais, garantindo produtos com maior qualidade e estabilidade. No entanto, a escolha do método ideal deve considerar aspectos como a textura, teor de água e resistência enzimática de cada alimento.

Futuras pesquisas podem investigar a combinação de métodos térmicos e químicos para melhorar ainda mais a eficiência do processo, além de explorar a aplicação de outras substâncias antioxidantes em diferentes tipos de frutas e hortaliças. Também seria relevante estudar os efeitos do branqueamento em larga escala, considerando variáveis como o tempo de armazenamento e os efeitos sobre a composição nutricional dos alimentos.

5 Referências

Carvalho, R. T., Lima, P. F., & Oliveira, M. S. (2021). Preservation methods for fruits and vegetables. In J. A. Silva & F. B. Lima (Eds.), Advances in food technology (pp. 75-89).

Cosmo, B. M. N., Galeriane, T., Beneton, A. M. G., & Novakoski, F. P. (2017). Production of dehydrated fruits: Current state, procedures, and future perspectives. Revista Científica Semana Acadêmica, 1-26.

Costa da Silva, R., Andrade Araújo, K. T., Santos Amadeu, L. T., Marques Feitosa, R., & Feitosa de Figueirêdo, R. M. (2017). Effect of steam blanching on the characteristics of arracacha (Arracacia xanthorrhiza). Revista Brasileira de Agrotecnologia,* 7**(2),* 116–120.

Gonçalves, S. S., Andrade, J. S., & Souza, R. S. (2010). Influence of blanching on the physicochemical and sensory characteristics of dehydrated pineapple. Food and Nutrition,* 21**(4),* 651-657.

Njoroge, E. W., Matofari, J. W., Mulwa, R. M., & Anyango, J. O. (2015). Effects of blanching time/temperature combination coupled with solar-drying on the nutritional

and microbial quality of indigenous leafy vegetables in Kenya. African Journal of Food Science and Technology,* 6**(7),* 209-219.

Reis, F. R. (2023). Blanching in the food industry. In Thermal processing of food products by steam and hot water (pp. 211-246). Woodhead Publishing.

Sayed, A., Chys, M., & Sampers, I. (2023). Characterization of blanching water from the potato processing industry and the influence of processing conditions. Journal of Cleaner Production,* 388**,* 135977.

Silva, J. A., & Lima, M. F. (2019). Thermal blanching in vegetables: Enzymatic inactivation and quality preservation. In A. S. Pereira & B. R. Souza (Eds.), Processing of vegetables and fruits (pp. 123-145). Editora Tecnologia e Ciência.

Silva, J. A., Santos, P. R., & Almeida, T. R. (2020). Food technology: Theories and practices.

Souza, D. S., Oliveira, L. R., & Santos, P. R. (2021). Antioxidant action of ascorbic acid in high-moisture fruits. In R. M. Costa (Ed.), Preservation of fruits and vegetables (pp. 99-118). Editora Agroindústria.

Capítulo 03

DOI: 10.53934/agronfy-2025-04-03

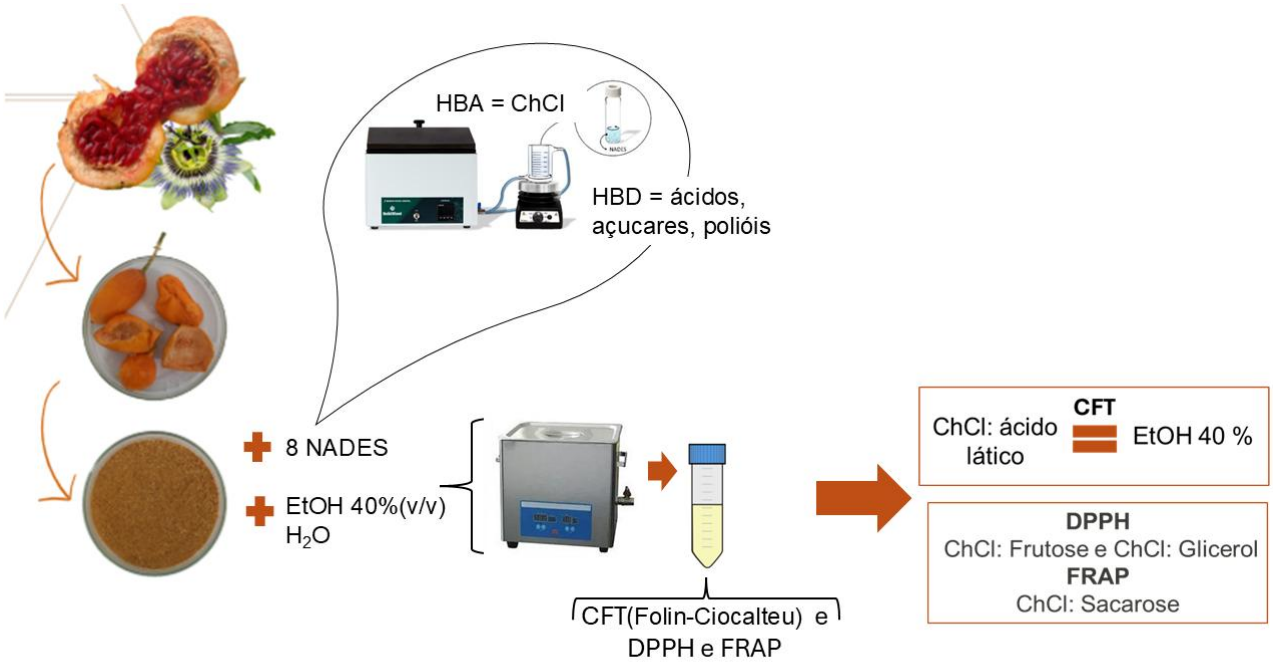
EXTRAÇÃO SUSTENTÁVEL DE COMPOSTOS FENÓLICOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DA CASCA DE *Passiflora caerulea* L. UTILIZANDO NADES E ULTRASSOM

Larissa Montibeller[1];
Natália Duarte de Lima[1*];
Carlise Beddin Fritzen-Freire [1];
Renata Dias de Mello Castanho Amboni[1]

1Departamento de Ciências e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, 88034-001, Florianópolis-SC, Brasil.

*E-mail de correspondência: nataliaduartelima@gmail.com

Resumo Gráfico



1. Introdução

Os compostos fenólicos são amplamente distribuídos no reino vegetal e reconhecidos por suas propriedades antioxidantes, antimutagênicas, antidiabéticas e anti-inflamatórias, sendo de grande interesse para a saúde e a indústria de alimentos (Angelo & Jorge, 2007; Shi et al., 2022; Soares et al., 2008). A extração eficiente desses compostos é um desafio técnico, especialmente considerando a toxicidade de solventes convencionais e as limitações associadas a métodos tradicionais, como o uso de altas temperaturas e solventes orgânicos (Muñiz-Márquez et al., 2013; Tiwari, 2015). Nesse

contexto, os solventes eutéticos naturais profundos (NADES) surgem como alternativas sustentáveis, oferecendo vantagens como baixo custo, biodegradabilidade, segurança química e eficiência na extração de compostos bioativos (Choi et al., 2011; Dai, Van Spronsen, et al., 2013; Lanjekar et al., 2022).

A *Passiflora caerulea* L., popularmente conhecida como flor da paixão azul ou maracujá laranja (Wanderley et al., 2024) é uma espécie nativa da América do Sul amplamente distribuída no Brasil, com cerca de 150 espécies descritas (Minteguiaga et al., 2021). Apesar de seu potencial medicinal e alimentício, ainda são escassos os estudos sobre os resíduos gerados no processamento desse fruto, como cascas e sementes, que possuem considerável teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante (Aseervatham et al., 2020; de Lima et al., 2024). Assim, a utilização de solventes alternativos como os NADES (solventes eutéticos naturais profundos) à base de componentes naturais atóxicos, representa uma abordagem promissora para a extração sustentável desses compostos, com potencial para superar as limitações de métodos convencionais e contribuir para o aproveitamento integral de resíduos vegetais.

Diante disso, este estudo teve como objetivo avaliar o potencial de oito NADES na extração de compostos fenólicos da casca do maracujá do mato (*Passiflora caerulea* L.), propondo uma solução sustentável e eficiente para maximizar o aproveitamento de recursos vegetais e contribuir para a inovação tecnológica na área de alimentos.

2 Metodologia

Os frutos do maracujá do mato (*Passiflora caerulea L.*) foram coletados em Urupema – Santa Catarina, Brasil (28°05'31.0"S 49°56'12.3"O – 1126 m de altitude), em dezembro de 2021. As amostras foram sanitizadas (hipoclorito de sódio (100 mg L^{-1} por 15 minutos)) e logo em seguida foi realizado o despolpamento manual dos frutos. As cascas passaram por secagem em estufa a 45 ± 2 ºC por 20 horas seguindo a metodologia de Santana et al. (2022). As cascas foram trituradas em moinho (Modelo PMC01, Philco, SP, Brasil) e o ajuste do tamanho do pó foi realizado em uma peneira Tyler 14 (abertura de 1,18 mm). As cascas secas e moídas foram embaladas a vácuo e armazenadas a -18±2 ºC até realização das análises.

2.1 Elaboração e caracterização dos solventes eutéticos profundo naturais (NADES)

Os NADES foram preparados pelo método de aquecimento e agitação (Abbott et al., 2004; Dai et al., 2014). Oito diferentes NADES à base de cloreto de colina (HBA - *hydrogen bond aceptor*) foram preparados com diferentes grupos de HBDs (do inglês *hydrogen bond donor*), sendo estes: três ácidos (cítrico, tartárico e lático), três açúcares (frutose, glicose e sacarose) e dois polióis (sorbitol e glicerol), como apresentado na Tabela 1. Os solventes foram realizados com uma proporção molar de 1:1 entre as espécies de HBA e HBD, como forma de avaliar exclusivamente a influência da natureza das espécies doadora de hidrogênio no potencial extração dos NADES (Dai, Spronsen, et al., 2013; de Lima et al., 2024).

Os reagentes foram pesados e misturados com 20% de água em relação a massa final dos dois componentes, mantidos em agitação constante por 30 a 90

minutos em banho termostatizado (SolidSteel, VHTEX, Brasil) com temperatura de 80ºC, até que houvesse a formação de uma solução homogênea ou transparente.

Os NADES foram caracterizados quanto ao pH com potenciômetro calibrado (Tec-7, Tecnal, Brasil) em temperatura ambiente (25 ºC ± 1 ºC), densidade, que foi calculada pela razão massa/volume (m/v), utilizando balão volumétrico de 10 mL e balança analítica com precisão de 0,0001 g (Bel Analítica, Brasil). Para a viscosidade, utilizou-se reômetro (Anton Paar, modelo MCR 72, EUA) com cilindro concêntrico-PP27, avaliando-se a viscosidade aparente a uma taxa de cisalhamento fixa de 100 s^{-1}. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

2.2 Extração por ultrassom

O processo de extração foi realizado em banho ultrassônico (Unique 1400A, São Paulo, Brasil) com 100 mg de amostra para 3 mL de solvente (razão 1:30 (m/v)), por uma hora na temperatura de 45 ºC. Os extratos foram centrifugados (Centrífuga Hermle Z200A, Wehingen, Alemanha) por 20 minutos a 4000 rpm e o sobrenadante foi filtrado em filtro de polietersulfona (PES) de 0,45 µm e armazenado ao abrigo de luz a 4 ºC até o momento das análises. Com o objetivo de comparar a eficiência da extração, as mesmas condições foram aplicadas aos solventes convencionais, etanol 40% e água (Bertolo *et al*., 2021).

2.3 Teor de compostos fenólicos totais (CFT) e capacidade antioxidante *in vitro*

A análise de CFT foi realizada pelo método de Folin-Ciocalteu (Singleton & Rossi, 1965), com algumas modificações descritas por (Barbieri et al., 2020). Em 1,68 mL de água destilada foram adicionados 20 µL do extrato diluído (1:10), 100 µL de reagente Folin-Ciocalteau, e preservou-se em repouso e ao abrigo de luz por 3 minutos. Em seguida, adicionou-se 200 µL de carbonato de sódio 20% (Na_2CO_3). Após repouso por 1 hora em temperatura ambiente, realizou-se a leitura em espectrofotômetro UV-VIS (modelo U-1800, Hitachi, Japão) em absorbância de 760 nm. O ácido gálico foi o padrão utilizado para a curva de calibração (intervalo linear de 25-500 mg mL^{-1} com um coeficiente de determinação de 0,98, y = 0,0638x – 0,0979) para expressar os resultados em mg equivalente de ácido gálico (EAG) por 100 g de amostra em base úmida. Todas as análises foram realizadas em triplicata e os resultados expressos em média±desvio padrão.

A capacidade antioxidante foi determinada pelos métodos de potencial antioxidante redutor férrico (FRAP) (Benzie & Strain, 1996) e pelo método de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil). A leitura foi realizada em absorbância a 515 nm e 734 nm em espectrofotômetro (Hitachi, U-1800, Japão), respectivamente. Os resultados foram expressos em micromol de equivalente de Trolox por grama da amostra em base úmida.

2.4 Análises estatísticas

Todas as análises foram realizadas em triplicata e os resultados expressos em média±desvio padrão. A diferença estatística foi avaliada por meio da análise de variância (ANOVA) utilizando o nível de confiança de 95% ($p < 0,05$) pelo teste de

Tukey, utilizando o software de estatística (TibCo Statistica) e figuras utilizando Origin 2024b.

3 Resultados e Discussão

3.1 Caracterização dos NADES

Os valores de pH, viscosidade e densidade dos NADES estão apresentados na Tabela 1. Todos os NADES apresentaram pH abaixo de 7, com valores variando entre 1,01 ± 0,04 e 3,85 ± 0,05, indicando um caráter ácido. O pH dos NADES pode ser influenciado pelos seus componentes HBDs (Skulcova et al., 2019), desta forma o pH dos NADES elaborados estão de acordo com o relatado na literatura. Nestas condições, os NADES, apresentam alta capacidade de extração de compostos fenólicos e significativa seletividade para recuperação de flavonoides (Benvenutti et al., 2019; Cui et al., 2018).

Tabela 1 – Valores de viscosidade, pH e densidade dos solventes eutéticos profundos naturais (NADES)

Solventes*	Viscosidade (mPa s)	pH (25 ºC)	Densidade (mg/mL) a 25 ºC
ChCl: Ácido Cítrico	77,68 ± 0,01^{a}	1,04 ± 0,01^{e}	1,25 ± 0,00^{a}
ChCl: Ácido Lático	10,43 ± 0,04^{g}	1,32 ± 0,02^{d}	1,10 ± 0,00^{f}
ChCl: Ácido Tartárico	39,18 ± 0,25^{b}	1,01 ± 0,04^{e}	1,24 ± 0,00^{b}
ChCl: Sorbitol	26,12 ± 0,08^{d}	3,85 ± 0,05^{a}	1,19 ± 0,01^{d}
ChCl: Glicerol	11,62 ± 0,15^{f}	3,28 ± 0,01^{b}	1,12 ± 0,00^{e}
ChCl: Glicose	38,83 ± 0,04^{b}	3,24 ± 0,01^{b}	1,22 ± 0,00^{c}
ChCl: Frutose	33,68 ± 0,18^{c}	2,83 ± 0,01^{c}	1,22 ± 0,00^{c}
ChCl: Sacarose	16,96 ± 0,01^{e}	3,81 ± 0,02^{a}	1,22 ± 0,00^{c}

Legenda: ChCl = cloreto de colina; *proporção 1:1 (mol/mol); mPa s = millipascal; $^{a-e}$ Letras iguais na coluna não diferem entre si ($p<0,05$).

A menor viscosidade foi observada para ChCl: ácido lático e maior quando o HBD foi o ácido cítrico. A viscosidade dos NADES está relacionada ao tipo de HBD e à presença de fortes ligações de hidrogênio, indicando que quanto mais forte a estrutura da ligação de hidrogênio no NADES, maior a sua viscosidade (Sui et al., 2023). O teor de água pode diminuir a viscosidade dos NADES, aumentar a eficiência de dissolução dos compostos alvos e, assim, aumentar significativamente a eficiência de extração até certo ponto (Cui et al., 2018; Santana et al., 2019).

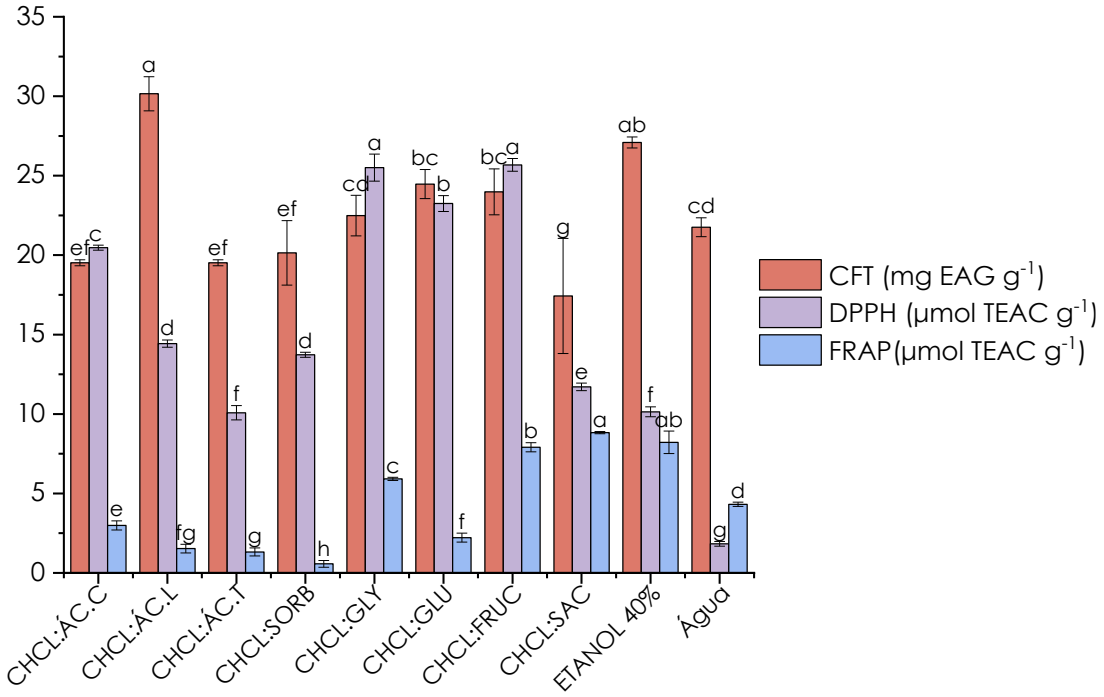
A densidade dos NADES também é uma propriedade importante que afeta diretamente o fenômeno de transporte envolvido no processo de extração dos solventes. Todos os solventes apresentaram densidade ligeiramente maior que 1 (entre 1,25±0,00 e 1,10±0,00), estando de acordo com os dados reportados na literatura. Comparando com os resultados obtidos neste trabalho, Hayyan et al. (2013) observaram uma densidade de 1,29 g/cm^3 para o NADES ChCl: glicose, na proporção molar de 1:1, em temperatura ambiente. Chanioti & Tzia (2018) extraíram compostos fenólicos do bagaço de oliva utilizando de NADES e obtiveram resultados semelhantes a este trabalho relacionados à densidade.

A densidade dos NADES está diretamente relacionada à sua estrutura, sendo influenciada pelas ligações de hidrogênio e interações de Van der Waals entre as moléculas (Sui et al., 2023). A adição de água reduz a densidade devido ao enfraquecimento das interações químicas, e quando o teor de água ultrapassa 50%, as interações intermoleculares nos NADES, especialmente os baseados em cloreto de colina, são significativamente enfraquecidas, comprometendo suas propriedades físico-químicas (Santana et al., 2019).

Os valores de compostos fenólicos totais (CFT) e capacidade antioxidante dos extratos da casca de casca do *Passiflora caerulea* L. obtidos com os diferentes solventes usando extração assistida por ultrassom estão apresentados na Figura 1.

O solvente que apresentou o melhor poder de extração foi o NADES ChCl: ácido lático, com um valor de 30,16 ± 1,08 mg EAG g^{-1} de compostos fenólicos totais. Esse resultado foi estatisticamente semelhante ao obtido pelo solvente convencional etanol 40% (27,09 ± 0,35 mg EAG g^{-1}).

Figura 1 – Valores de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante (DPPH e FRAP) de extratos da casca de *P. caerulea* L. obtidos por ultrassom com diferentes solventes



Legenda: CHCL = cloreto de colina; CHCL:ÁC.L= Cloreto de colina:ácido lático; CHCL:ÁC.T= Cloreto de colina:ácido tartárico; CHCL:Sac= Cloreto de colina:sacarose; CHCL:ÁC.C= Cloreto de colina:ácido cítrico; CHCL:Glu= Cloreto de colina:glucose; CHCL:FRUC= Cloreto de colina:frutose; CHCL:Gly= Cloreto de colina:glicerol; CHCL:SORB= Cloreto de colina:sorbitol; CFT = compostos fenólicos totais; DPPH = 2,2-difenil-1-picril-hidrazil; FRAP = redutor férrico; EAG = equivalente de ácido gálico; TEAC = capacidade antioxidante equivalente a Trolox; [a-g] Letras iguais na coluna não diferem entre si ($p<0,05$).

Diversos estudos destacam a utilização de NADES à base de cloreto de colina e ácido lático na extração de compostos fenólicos (Bakirtzi et al., 2016; Fanali et al., 2021; Popovic et al., 2022; Rashid et al., 2022). O cloreto de colina, por sua estrutura química, facilita várias interações moleculares com os compostos bioativos, promovendo extrações mais eficientes (Doldolova et al., 2021; Freitas et al., 2021; Martins et al., 2019). Já o ácido lático, além de ser mais biodegradável que solventes convencionais, melhora o rendimento da extração favorecido pela baixa viscosidade e

pH, que favorecem a solvatação e a extração dos compostos fenólicos (Silva et al., 2020).

Em estudo de Bertolo (2024) e Bertolo et al. (2021), solventes NADES foram avaliados na extração de compostos fenólicos de casca de romã, casca de amêndoa e bagaço de sabugueiro. Estas pesquisas ressaltam que NADES contendo cloreto de colina e ácido lático apresentam maior eficiência de extração em comparação ao etanol (60%, v/v), corroborando os resultados do presente estudo com casca do maracujá laranja.

Jurić et al. (2021) observaram que ácidos fenólicos possuem maior afinidade por NADES devido à capacidade de formação de ligações de hidrogênio. Vo et al. (2024) otimizaram extrações assistidas por ultrassom e micro-ondas para compostos fenólicos e terpenoides de casca de maracujá (*Passiflora edulis Sims.*), utilizando NADES à base de ácido acético e glicerina, destacando o ultrassom como método verde e eficaz. De Lima et al. (2024) investigaram a extração de compostos fenólicos com NADES e ultrassom de subproduto de *Psidium myrtoides*, e o ChCl:Glicerol (1:2) mostrou ser o NADES com maior eficiência na extração de CFT e com alta capacidade antioxidante.

Embora o NADES ChCl: ácido lático não tenha alcançado os melhores resultados quando utilizado o método DPPH, este solvente ainda apresentou uma resposta superior à de solventes convencionais pesquisados neste trabalho (42,31% superior ao etanol 40% e 83% superior a água). Esse desempenho pode ser atribuído às interações intermoleculares, especialmente à formação de ligações de hidrogênio, que estabilizam compostos fenólicos nos extratos (Jurić et al., 2021).

Quando avaliamos a capacidade antioxidante pelo método FRAP, o extrato obtido com etanol 40% apresentou maior capacidade de redução do íon Fe^{3+}, enquanto os NADES se destacaram na neutralização do radical DPPH. Essa diferença é consistente com estudos prévios, relatado por Jurić et al. (2021), que encontraram maior capacidade de redução férrica em extratos etanólicos devido à presença de ácidos hidroxicinâmicos.

A relevância dos NADES na extração de compostos bioativos é amplamente relatada em pesquisas. Vorobyova et al. (2023) destacaram que a polaridade do solvente influenciou a atividade antioxidante de extratos de resíduos de uva, com resultados superiores para NADES em comparação ao etanol. De forma semelhante, Carreón-hidalgo et al. (2024) reportou que três dos quatro NADES avaliados apresentaram percentuais de inibição do radical DPPH superiores aos obtidos com solventes convencionais.

Outros estudos corroboram esses achados, Gómez-Urios et al. (2023) observaram que o NADES ChCl: ácido málico resultou em maior capacidade antioxidante pelo método DPPH para cascas de *Citrus sinensis*. Benítez-Correa et al. (2023) observaram que extratos de cacau obtidos com NADES apresentaram maior atividade antioxidante pelos métodos DPPH e FRAP do que os obtidos com etanol 70%.

Rashid et al., (2022) avaliaram a atividade antioxidante de extratos do bagaço de maçã pelos métodos de DPPH e FRAP obtidos com sete diferentes NADES em comparação com o solvente convencional etanol 70%. A atividade antioxidante pela análise de DPPH e FRAP mostrou melhor desempenho para ChCl: ácido lático, seguido pelo NADES ChCl:glicerol e ChCl: Ácido cítrico e o solvente convencional etanol 70%. Zannou et al., (2022) avaliaram a capacidade antioxidante da amora preta (*Rubus* ssp.) utilizando NADES por três diferentes métodos (DPPH, FRAP e FCA). Os resultados obtidos mostraram que os extratos obtidos por NADES exibiram maior atividade de eliminação de radical DPPH quando comparado aos solventes convencionais utilizados (etanol, metanol e água).

Estes autores explicam que a alta atividade de eliminação do radical DPPH dos extratos obtidos reflete sua capacidade de recuperar de maneira eficaz os compostos bioativos. Para o método de FRAP, nove dos extratos obtidos de NADES apresentaram melhor atividade antioxidante do que a água destilada, o metanol e etanol. Indicando que a eficiência desses NADES está relacionada à sua capacidade de extrair os compostos fenólicos da amora preta.

Esses resultados reforçam que os NADES são alternativas promissoras aos solventes convencionais, especialmente em termos de sustentabilidade e eficiência na extração de compostos bioativos. Além disso, sua aplicação está alinhada com o desenvolvimento de tecnologias verdes, contribuindo para métodos mais seguros e ecológicos. A análise detalhada das propriedades antioxidantes obtidas por diferentes métodos (DPPH e FRAP) permite compreender melhor o impacto das características dos solventes na extração de compostos fenólicos, contextualizando os dados aos relatados pela literatura científica.

4. Considerações Finais

Os resultados deste estudo evidenciam o grande potencial dos solventes eutéticos profundos naturais (NADES) na extração de compostos fenólicos e na atividade antioxidante da casca do maracujá laranja (*Passiflora caerulea* L.). Entre os NADES avaliados, o sistema ChCl: ácido lático se destacou na extração assistida por ultrassom, apresentando eficiência comparável ao etanol 40%, um solvente convencional. Esses achados reforçam a viabilidade dos NADES como alternativa sustentável e menos prejudicial ao meio ambiente e à saúde, substituindo solventes convencionais em processos industriais e científicos.

Na avaliação da atividade antioxidante, os NADES ChCl: frutose e ChCl: glicerol demonstraram maior eficiência na neutralização de radicais DPPH, enquanto o ChCl: sacarose foi mais eficaz no método FRAP. Este estudo também destaca o potencial bioativo da casca de *Passiflora caerulea* L., mesmo sendo pouco explorada na literatura, e aponta para a relevância de tecnologias verdes, como os NADES, na promoção de soluções inovadoras e ambientalmente seguras.

Pesquisas futuras devem explorar a aplicação de NADES em outras matrizes e condições de extração, ampliando seu uso sustentável e seu impacto no avanço científico.

5. Referências Bibliográficas

Abbott, A. P., Boothby, D., Capper, G., Davies, D. L., & Rasheed, R. K. (2004). Deep eutectic solvents formed between choline chloride and carboxylic acids: Versatile alternatives to ionic liquids. Journal of the American Chemical Society, 126(29), 9142–9147. https://doi.org/10.1021/ja048266j

Angelo, P. M., & Jorge, N. (2007). Compostos fenólicos em alimentos – Uma breve revisão. Revista do Instituto Adolfo Lutz, 66(1), 1–9. https://doi.org/10.53393/rial.2007.66.32841

Aseervatham, G. S. B., Abbirami, E., Sivasudha, T., & Ruckmani, K. (2020). Passiflora caerulea L. fruit extract and its metabolites ameliorate epileptic seizure, cognitive deficit and oxidative stress in pilocarpine-induced epileptic mice. Metabolic Brain Disease, 35, 159–173.

Bakirtzi, C., Triantafyllidou, K., & Makris, D. P. (2016). Novel lactic acid-based natural deep eutectic solvents: Efficiency in the ultrasound-assisted extraction of antioxidant polyphenols from common native Greek medicinal plants. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 3(3), 120–127. https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2016.03.003

Barbieri, J. B., Goltz, C., Batistão Cavalheiro, F., Theodoro Toci, A., Igarashi-Mafra, L., & Mafra, M. R. (2020). Deep eutectic solvents applied in the extraction and stabilization of rosemary (Rosmarinus officinalis L.) phenolic compounds. Industrial Crops and Products, 144, 112049. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.112049

Benvenutti, L., Antonio, A., Zielinski, F., Regina, S., & Ferreira, S. (2019). Which is the best food emerging solvent: IL, DES or NADES? Trends in Food Science & Technology, 90, 133–146. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.06.003

Benzie, I. F. F., & Strain, J. J. (1996). The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a measure of ‘antioxidant power’: The FRAP assay. Analytical Biochemistry, 239, 70–76.
Bertolo, M. R. V., Martins, V. C. A., Plepis, A. M. G., & Bogusz, S. (2021). Utilization of pomegranate peel waste: Natural deep eutectic solvents as a green strategy to recover valuable phenolic compounds. Journal of Cleaner Production, 327, 129471. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129471

Chanioti, S., & Tzia, C. (2018). Extraction of phenolic compounds from olive pomace by using natural deep eutectic solvents and innovative extraction techniques. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 48, 228–239. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.07.001

Choi, Y. H., van Spronsen, J., Dai, Y., Verberne, M., Hollmann, F., Arends, I. W. C. E., Witkamp, G. J., & Verpoorte, R. (2011). Are natural deep eutectic solvents the missing link in understanding cellular metabolism and physiology? Plant Physiology, 156(4), 1701–1705. https://doi.org/10.1104/PP.111.178426

Dai, Y., Van Spronsen, J., Witkamp, G. J., Verpoorte, R., & Choi, Y. H. (2013). Ionic liquids and deep eutectic solvents in natural products research: Mixtures of solids as extraction solvents. Journal of Natural Products, 76(11), 2162–2173. https://doi.org/10.1021/np400051w

de Lima, N. D., da Silva Monteiro Wanderley, B. R., Andrade Ferreira, A. L., Pereira-Coelho, M., da Silva Haas, I. C., Vitali, L., dos Santos Madureira, L. A., Müller, J. M., Fritzen-Freire, C. B., & de Mello Castanho Amboni, R. D. (2024). Green extraction of phenolic compounds from the by-product of purple araçá (Psidium myrtoides) with natural deep eutectic solvents assisted by ultrasound: Optimization, comparison, and bioactivity. Food Research International, 191. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114731

Jurić, T., Mićić, N., Potkonjak, A., Milanov, D., Dodić, J., Trivunović, Z., & Popović, B. M. (2021). The evaluation of phenolic content, in vitro antioxidant and antibacterial activity of Mentha piperita extracts obtained by natural deep eutectic solvents. Food Chemistry, 362. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130226

Tiwari, B. K. (2015). Ultrasound: A clean, green extraction technology. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 71, 100–109. https://doi.org/10.1016/j.trac.2015.04.013

Vo, T. P., Phan, T. H., Nguyen, T. H. P., Nguyen, V. K., Dang, T. C. T., Nguyen, L. G. K., Chung, T. Q., Nguyen, H. Q., Chau, P. T. T., Thinh, L. D. A., Vo, N. T., & Nguyen, D. Q. (2024). Green extraction of phenolics and terpenoids from passion fruit peels using natural deep eutectic solvents. Journal of Food Process Engineering, 47(1). https://doi.org/10.1111/jfpe.14503

Capítulo 04

DOI: 10.53934/agronfy-2025-04-04

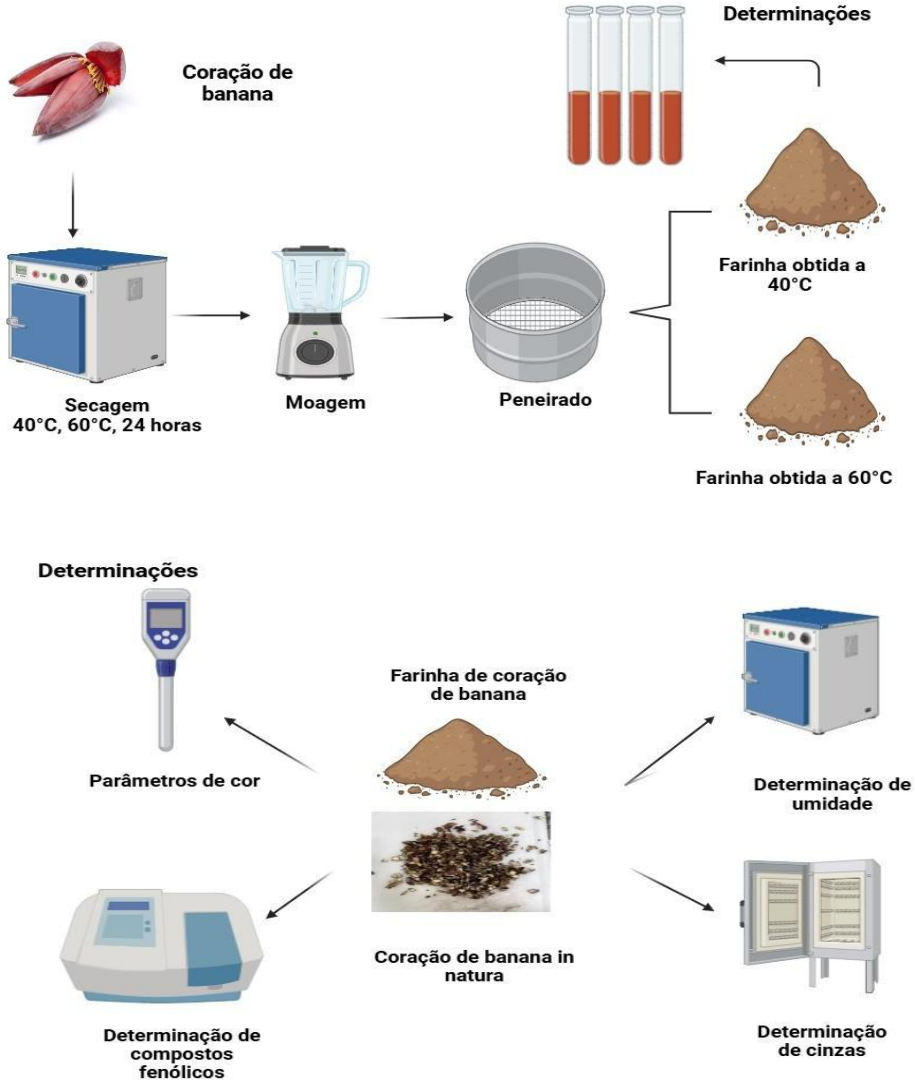
AVALIAÇÃO DA TEMPERATURA DE SECAGEM NA PRODUÇÃO DA FARINHA A PARTIR DE CORAÇÃO DE BANANA

Katia Dariela Banegas[1];
Silvia Maria Martelli[1];
Vitor Augusto dos Santos Garcia[2].

[1] Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PPGA), Faculdade de Engenharia (FAEN), Universidade Federal da Grande Dourado (UFGD), Rodovia Dourados Itahum Km 12, 79804-970 Dourados, MS, Brasil.

[2] Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrícolas de Botucatu, SP – Brasil.

Resumo gráfico



1. Introdução

A banana (*Musa* spp.) é uma fruta de relevância mundial na alimentação, cultivada e consumida extensivamente por suas qualidades sensoriais, seu rico valor nutricional e seus benefícios para a saúde (Lau et al., 2020). Além do fruto, outras partes da bananeira são aproveitadas na culinária, por exemplo, o coração de banana, a parte central da inflorescência (Mohiuddin et al., 2014). A inflorescência da bananeira, também conhecida como "banana blossom", "banana flower" ou "coração de banana", é um botão floral com uma estrutura em forma de coração de cor roxo-púrpura escuro localizada no final do talo ou pedúnculo (Panyayong, C., & Srikaeo, 2022).

A inflorescência da bananeira é amplamente utilizada na culinária global, sendo apreciada especialmente na Ásia em preparações fritas, temperadas com curry ou cozidas (Ferreira et al., 2023& Lau et al., 2020). Entretanto, no Brasil, o consumo da bráctea da bananeira ainda é pouco comum, sendo mais frequente em áreas rurais, onde é utilizada como alimento nutritivo, em tortas ou como ingrediente cozido em saladas para aumentar a quantidade de alimento.

Por outro lado, a produção de alimentos, como o cultivo do banano, gera uma grande quantidade de resíduos, incluindo compostos com alto valor nutricional e farmacêutico. A inflorescência da banana, por exemplo, é descartada, apesar de possuir propriedades benéficas que poderiam ser aproveitadas na indústria alimentícia e farmacêutica (Senevirathna & Karim, 2024). O coração de banana é um alimento promissor, pois em estudos anteriores, foi encontrado que é um alimento com compostos bioativos, como compostos fenólicos, flavonoides, alcaloides e terpenos (Panyayong, C., & Srikaeo, 2023; Senevirathna & Karim, 2024)

O coração da banana, um recurso subutilizado, pode ser valorizado através da produção de farinha por meio de processo de secagem. A secagem que é um processo completo que causa uma transferência simultânea de calor e massa em condições transitórias (Tzempelikos et., 2014). O processo de secagem, além de facilitar a conservação do produto, permite obter uma farinha com características funcionais que a tornam atrativa para a indústria alimentícia. Essa inovação contribui para reduzir o desperdício de alimentos e promover uma alimentação mais saudável (Apaliya et al., 2024).

O presente estudo tem como objetivo principal avaliar o efeito de diferentes temperaturas de secagem nas propriedades físico-químicas e funcionais de farinhas

obtidas do coração da banana. A escolha de diferentes temperaturas se justifica pelo impacto significativo que essa variável pode ter sobre a qualidade final do produto, influenciando a retenção de compostos bioativos, a estrutura física da farinha e suas propriedades tecnológicas. Para isso, serão realizadas análises de umidade, teor de cinzas, parâmetros de cor e compostos fenólicos, utilizando metodologias previamente validadas na literatura. Assim, este estudo busca fornecer um direcionamento sobre a temperatura ideal de secagem para otimizar as características da farinha obtida, contribuindo para valorizar um subproduto comumente descartado e para desenvolver novos produtos alimentícios mais saudáveis e sustentáveis.

2. Metodologia

2.1 Obtenção de farinha do coração de banana

Os corações de banana foram coletados na horta da Universidade Federal da Grande Dourados. Após a colheita, foi realizado um processo de limpeza e sanitização por meio da lavagem com água e solução de hipoclorito de sódio a 10%. Em seguida, as brácteas e flores foram removidas, que foi cortada em pedaços de aproximadamente 1 cm × 1 cm.

Para a obtenção da farinha, os pedaços foram submetidos a um processo de secagem em estufa com circulação de ar quente, utilizando duas condições experimentais: 40°C e 60°C por um período de 24 horas. Após a secagem, os pedaços foram moídos em um triturador e embalados em sacos plásticos até a realização das análises subsequentes.

2.2 Caracterização das farinhas

2.2.1 Determinação de umidade

O teor de umidade das amostras foi determinado seguindo o método de secagem em estufa a 105°C durante 24 horas, conforme estabelecido pela AOAC (2012). Para isso, foram pesados 2 g de amostra em quadruplicada, e os valores obtidos foram expressos em porcentagem de umidade com base no peso inicial e final da amostra.

2.2.2 Determinação de cinzas

O teor de cinzas foi determinado seguindo o método AOAC 942.05 (2016). Para isso, foram pesados 2 g de amostra em cadinhos previamente tarados e calcinados em uma mufla a 550°C por 24 horas. A quantidade de cinzas obtida foi expressa em porcentagem, e cada análise foi realizada em quadruplicada.

2.2.3 Parâmetro de cor

A determinação da cor instrumental das farinhas foi realizada utilizando um colorímetro Minolta Chroma Meter CR-410, seguindo o sistema de cor CIELAB. Foram medidos os parâmetros L* (luminosidade), a* (intensidade de vermelho) e b* (intensidade de amarelo), sendo realizadas um total de quatro repetições por amostra.

Além disso, foi calculado o índice de escurecimento (IE), utilizando a seguinte fórmula:

$$IO = * + b * L *$$

Onde a* representa a intensidade de vermelho, b* a intensidade de amarelo e L* a luminosidade da amostra.

2.3.4 Determinação compostos fenólicos

Para a determinação dos compostos fenólicos totais, foi realizado um processo de extração, foram misturados 2 g de farinha com 30 mL de etanol a 80%, e a solução foi submetida à agitação em um shaker a 200 rpm por 30 minutos à temperatura ambiente. Posteriormente, foi realizada uma centrifugação a 6.000 rpm por 10 minutos, e o sobrenadante foi coletado. A análise de compostos fenólicos totais foi realizada segundo o método de Folin-Ciocalteu descrito por Singleton & Rossi (1965), com modificações segundo Veber et al. (2015) e os resultados foram expressos em equivalentes de ácido gálico. Todas as determinações foram realizadas em quadruplicada.

2.3.5 Analise estatística

Os resultados foram avaliados quanto à significância usando análise de variância unidirecional (ANOVA) e teste de Tukey, por meio do programa BIOESTAT, O nível de significância escolhido foi 0,05. O termo significativo é usado para indicar diferenças para as quais $p \leq 0,05$.

3.Resultados e discussões

3.1 Determinação umidade (%BH)

A análise de umidade mostrou uma diminuição significativa entre as amostras "in natura" e as farinhas processadas a 40 °C e 60 °C (figura 1.). No estado “in natura”, o teor médio de umidade foi de 88,82%, enquanto nas amostras tratadas a 40 °C e 60°C, os valores médios foram de 12,63% e 5,70%, respectivamente. Os resultados mostram que o processo de secagem a 60°C foi eficaz na redução do teor de umidade no coração de banana, de 88,82% no produto fresco para 5,70% na farinha. De acordo

com a análise de variância (ANOVA) seguida do teste de Tukey ($p < 0,05$), são identificadas diferenças significativas entre o tratamento 'In Natura' e o tratamento seco, com letras diferentes ('a' para 'In Natura' e 'b' para tratamentos secos), indicando que a redução da umidade é estatisticamente significativa com a secagem.

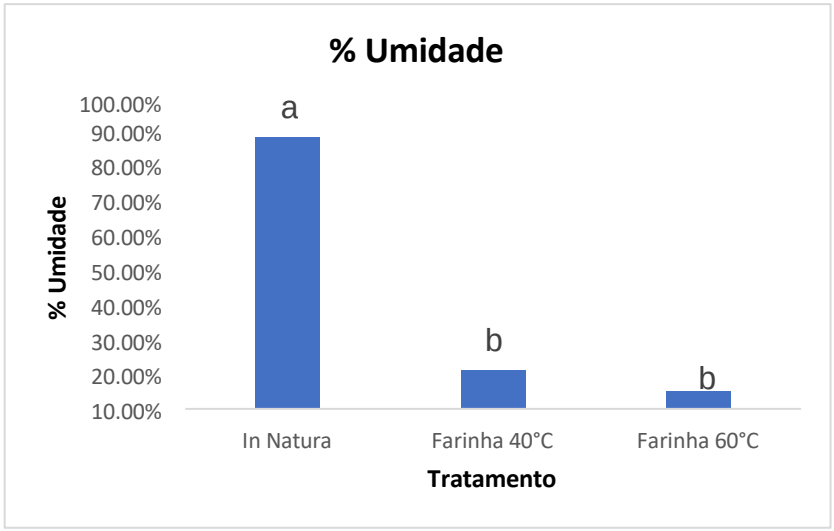


Figura 1. Comparação de conteúdo de umidade por tratamento recebido.

Essa redução reflete a eficácia do tratamento térmico na remoção de água, o que pode ser atribuído à evaporação durante a secagem conforme mencionado por (Macedo et al., 2020).

3.2 Determinação de cinzas

O conteúdo de cinzas apresentou variações notáveis entre as amostras in natura e as farinhas processadas a diferentes temperaturas (figura 2).

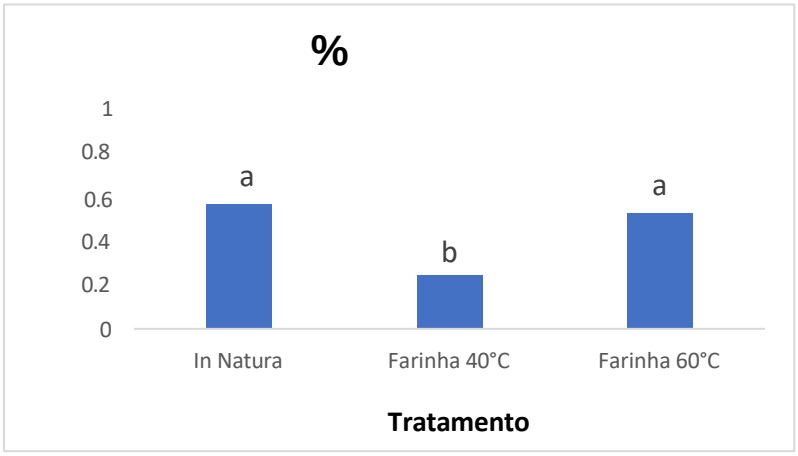


Figura 2. Comparação de conteúdo de cinzas por tratamento recebido.

No estado in natura, o conteúdo médio de cinzas foi de 0,56%, enquanto nas farinhas tratadas a 40°C diminuiu significativamente para 0,24%. Por outro lado, nas amostras processadas a 60°C, o valor médio foi de 0,52%, mostrando uma recuperação parcial em comparação com 40°C. As letras acima das barras indicam diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, conforme análise de variância (ANOVA) seguida do teste de comparações múltiplas de Tukey ($p < 0,05$).

Os tratamentos que compartilham a mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si, enquanto aqueles com letras diferentes apresentam diferenças estatisticamente significativas. Neste caso, os tratamentos ‘In Natura’ e ‘Farinha 60°C’ compartilham a letra ‘a’, indicando que não há diferença significativa entre eles. Por outro lado, ‘Farinha 40°C’, identificada com a letra ‘b’, apresentou valor significativamente menor em comparação aos outros dois tratamentos

Essa diminuição inicial pode ser atribuída à possível perda de partículas minerais mais leves durante o processo de secagem, enquanto a estabilidade observada nas amostras processadas a 60°C pode ser devida a uma menor volatilização dos componentes minerais a temperaturas mais altas, (Alagbe et al., 2020) concluíram que o conteúdo de cinzas aumentou com a temperatura.

3.3 Parâmetro de cor

A análise de cor revelou diferenças significativas entre as amostras "in natura" e as farinhas processadas a 40 °C e 60 °C (figura 3).

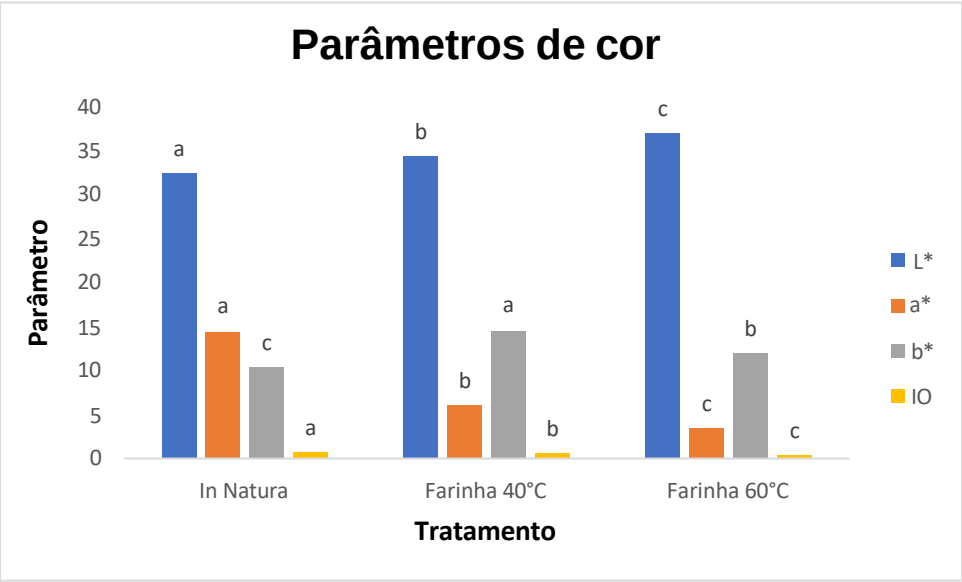


Figura 3. Comparação de parâmetros de cor tratamento recebido

3.4 Parâmetro de color L

No parâmetro L (luminosidade), observou-se um aumento progressivo dos valores com o aumento da temperatura de secagem. A amostra "in natura" apresentou um valor médio de 32,95, enquanto as farinhas processadas a 40 °C e 60 °C alcançaram valores de 34,19 e 36,84, respectivamente, o que indica uma maior clareza nas amostras tratadas termicamente, De acordo com um estudo anterior, foi observado que a luminosidade aumentou com o aumento da temperatura (Alagbe et al., 2020).

As letras acima das barras indicam diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos de acordo com a análise de variância (ANOVA) seguida do teste de Tukey ($p < 0,05$). Neste caso, os tratamentos apresentam letras diferentes, o que indica que a luminosidade (L*) aumentou significativamente com a secagem. 'In Natura' apresentou o menor valor de L* (letra 'a'), enquanto 'Farinha 40°C' e 'Farinha 60°C' apresentaram valores maiores com diferenças significativas entre eles (letras 'b' e 'c ', respectivamente). Isto sugere que a secagem em temperaturas mais elevadas contribui para maior clareamento do produto.

3.5 Parâmetro de color a e b**

Quanto ao parâmetro a*, associado à intensidade da cor vermelho-verde, observou-se uma diminuição significativa após o processamento. A amostra "in natura" teve um valor médio de 18,94, em contraste com 6,05 para 40 °C e 3,43 para 60 °C. são observadas diferenças significativas entre os tratamentos, indicadas pelas letras ‘a’, ‘b’ e ‘c’. O tratamento ‘In Natura’ apresentou o maior valor de a* (letra ‘a’), enquanto as farinhas secas a 40°C e 60°C apresentaram valores inferiores com diferenças significativas entre elas (letras ‘b’ e ‘c '). Isso sugere que o calor pode ter reduzido a intensidade dos pigmentos vermelhos presentes no material original.

O parâmetro b, relacionado à intensidade do amarelo-azul, mostrou um comportamento variável. As farinhas processadas a 40 °C apresentaram um aumento no valor médio (14,49) em comparação com as amostras "in natura" (12,08), enquanto as amostras processadas a 60 °C diminuíram levemente para (11,92). As letras acima das barras indicam diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos de acordo com a análise de variância (ANOVA) seguida do teste de Tukey ($p < 0,05$). Observa-se que Farinha 40°C apresentou valor b* significativamente maior (letra 'a'), enquanto In Natura e Farinha 60°C apresentaram valores menores com diferenças estatísticas entre eles (letras 'b ' e 'c', respectivamente).

Este resultado sugere que a secagem a 40°C promoveu um aumento na tonalidade amarela do produto, possivelmente devido à concentração de pigmentos naturais, como os carotenóides, ou ao início de reações químicas como a reação de Maillard em estágios iniciais. Porém, a 60°C, o valor de b* foi significativamente reduzido, o que pode indicar uma degradação térmica destes compostos responsáveis pela cor amarela, resultando em menor intensidade. De acordo com Buzera et al. (2022) e Alagbe et al (2020); os processos de secagem podem influenciar na colorimetria de produtos vegetais.

A diferença nas letras indica que a secagem afeta significativamente o escurecimento do produto. A menor umidade nas farinhas secas reduz a disponibilidade de água para reações enzimáticas de escurecimento, o que poderia explicar a diminuição do IO em relação à ‘In Natura’. Além disso, o calor pode inativar enzimas como a polifenol oxidase, que limita a formação de pigmentos escuros.

O facto de a 'Farinha 60°C' ter um valor de IO significativamente inferior ao da 'Farinha 40°C' (letras 'c' e 'b', respectivamente) sugere que a temperaturas mais elevadas os efeitos da degradação térmica são intensificados, possivelmente afetará precursores de cor e reduzem ainda mais a formação de compostos escuros. Isto pode ser devido à revisão de produtos intermediários de reações como a oxidação de polifenóis ou a reação de Maillard, o que explicaria a redução do índice de escurecimento (Barros et al., 2024).

3.7 Compostos fenólicos

Segundo a figura 4, a análise do conteúdo de compostos fenólicos mostrou diferenças significativas entre as amostras "in natura" e as farinhas tratadas a 40 °C e 60°C.

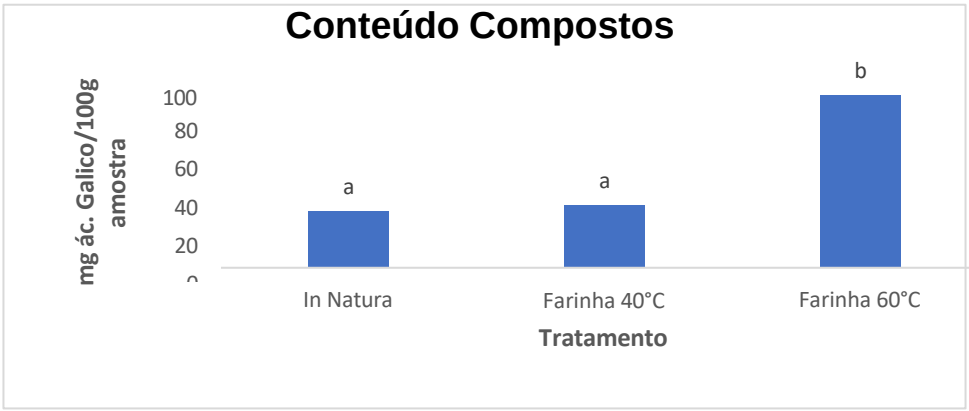


Figura 4. Comparação de parâmetros de cor tratamento recebido

Nas amostras "in natura", o conteúdo médio de compostos fenólicos foi de 33,03 mg/100 g, enquanto as farinhas processadas a 40 °C apresentaram um leve aumento, com uma média de 36,45 mg/100 g. Em contraste, as amostras tratadas a 60 °C atingiram um valor significativamente maior de 101,05 mg/100 g, evidenciando um aumento substancial em comparação com as demais condições.

Os valores dos compostos fenólicos apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos, conforme análise de variância (ANOVA) seguida do teste de comparação de médias de Tukey ($p < 0,05$). No tratamento ‘In Natura’ será observado o menor teor de compostos fenólicos (letra ‘a’), enquanto na farinha seca a 40°C não foi evidenciado aumento significativo em relação ao produto in natura (letra ‘a’). Porém, na farinha seca a 60°C, foi detectado um aumento significativo na concentração destes compostos (letra 'b'), indicando que a temperatura de secagem

O aumento observado no tratamento a 60°C pode estar relacionado à redução da umidade, que concentrou os compostos originais presentes na matéria-prima. Além disso, o calor aplicado poderia ter promovido a liberação de compostos fenólicos ligados à matriz celular ou gerado maior extração devido ao rompimento das estruturas celulares. No entanto, também é possível que temperaturas mais elevadas provoquem degradação térmica em alguns compostos fenólicos sensíveis, o que explica a ausência de aumento progressivo da secura (Barros et al., 2024).

O facto de existirem diferenças estatísticas (letras 'a' e 'b') confirma que a secagem a temperaturas mais elevadas influencia a concentração final de compostos fenólicos, sugerindo que um tratamento térmico controlado poderia otimizar a retenção ou disponibilidade destes compostos bioativos.

O aumento observado nas farinhas processadas, especialmente a 60 °C, poderia ser atribuído à liberação de compostos fenólicos ligados à matriz vegetal durante o processo de aquecimento, favorecendo sua extração. Isso é consistente com estudos anteriores que relatam um aumento na disponibilidade de compostos fenólicos após tratamentos térmicos moderados (Gupta et al., 2011).

3. Considerações finais

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a temperatura de secagem exerce influência significativa sobre as propriedades físico-químicas e funcionais das farinhas obtidas do coração de banana. A secagem a 60 °C mostrou-se mais eficiente na redução do teor de umidade, resultando em um produto com maior potencial de conservação. Quanto ao conteúdo de cinzas, observou-se uma variação que reflete o impacto da temperatura no comportamento dos componentes minerais, com recuperação parcial a temperaturas mais elevadas. Os parâmetros de cor destacaram mudanças relevantes na luminosidade e intensidade de pigmentos, indicando alterações visuais significativas que podem influenciar a aceitação sensorial do produto.

Um achado de grande relevância foi o aumento substancial no teor de compostos fenólicos nas farinhas processadas a 60 °C, sugerindo que o tratamento térmico favorece a liberação desses compostos bioativos. Esses resultados reforçam o potencial do coração de banana como ingrediente funcional e sustentável para a indústria alimentícia, promovendo o aproveitamento de subprodutos agrícolas frequentemente descartados.

Como limitações, este estudo não abordou a estabilidade dos compostos bioativos ao longo do armazenamento, nem avaliou o impacto sensorial das farinhas em formulações alimentares. Pesquisas futuras podem explorar esses aspectos, além de investigar outras temperaturas e métodos de secagem para otimizar as propriedades do produto final. Este trabalho contribui para o avanço do conhecimento na área de aproveitamento de resíduos agrícolas, oferecendo uma abordagem promissora para a produção de ingredientes funcionais e saudáveis.

3.Referências

Alagbe, E. E., Amlabu, Y. S., Daniel, E. O., & Ojewumi, M. E. (2020). Effect of varying drying temperature on the soluble sugar and nutritional content of banana. *The Open Chemical Engineering Journal,* 14(1).

Apaliya, M. T., Kwaw, E., Osae, R., Alolga, R. N., Aidoo, P., Mensah, L. A., ... & Wilson, C. L. (2024). Effect of different drying methods on the rehydration kinetics, physiochemical and functional properties of unripe plantain (*Musa paradisiaca*) flour. *Food Chemistry Advances,* 100610. https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100610

Buzera, A., Gikundi, E., Orina, I., & Sila, D. (2022). Effect of pretreatments and drying methods on physical and microstructural properties of potato flour. *Foods,* 11(4). https://doi.org/10.3390/foods11040507

Gupta, S., Cox, S., & Abu-Ghannam, N. (2011). Effect of different drying temperatures on the moisture and phytochemical constituents of edible Irish brown seaweed. *LWT - Food Science and Technology,* 44(5), 1266-1272. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.12.022

Lau, B. F., Kong, K. W., Leong, K. H., Sun, J., He, X., Wang, Z., ... & Ismail, A. (2020). Banana inflorescence: Its bio-prospects as an ingredient for functional foods. *Trends in Food Science & Technology,* 97, 14-28. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.023

Macedo, L. L., Vimercati, W. C., da Silva Araújo, C., Saraiva, S. H., & Teixeira, L. J. Q. (2020). Effect of drying air temperature on drying kinetics and physicochemical characteristics of dried banana. *Journal of Food Process Engineering,* 43(9), e13451. https://doi.org/10.1111/jfpe.13451

Mohiuddin, A., Saha, M. K., Hossain, M. S., & Ferdoushi, A. (2014). Utility of banana (*Musa paradisiaca*) waste in bioproduct manufacturing: A review. *The Agriculturists,* 12(1), 148–158. https://doi.org/10.3329/agric.v12i1.19870

Panyayong, C., & Srikaeo, K. (2022). Foods from banana inflorescences and their antioxidant properties: An exploratory case in Thailand. *International Journal of Gastronomy*

and Food Science, 28, 100436. https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100436

Panyayong, C., & Srikaeo, K. (2023). Effects of hydrocolloids on the qualities of pureed banana inflorescences prepared for individuals with dysphagia. *Food Hydrocolloids for Health,* 3, 100129. https://doi.org/10.1016/j.fhfh.2023.100129

Rezende Ferreira, I., de Almeida Santos Junior, V., Ferreira Almeida, É. C., Bittencourt Junior, F. F., Carvalho dos Santos, A., Demarchi Kappel Trichez, V., ... & Neder Morato, P. (2023). Effects of banana (*Musa spp.*) bract flour on rats fed high-calorie diet. *Food Technology and Biotechnology,* 61(2), 238-249. https://hrcak.srce.hr/305969#fS.1

Senevirathna, N., & Karim, A. (2024). Banana inflorescence as a new source of bioactive and pharmacological ingredients for the food industry. *Food Chemistry Advances,* 5, 100814. https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100814

Tzempelikos, D. A., Vouros, A. P., Bardakas, A. V., Filios, A. E., & Margaris, D. P. (2014). Case studies on the effect of air drying conditions on the convective drying of quinces. *Case Studies in Thermal Engineering,* 3, 79-85. https://doi.org/10.1016/j.csite.2014.05.001

Veber, J., Petrini, L. A., Andrade, L. B., & Siviero, J. (2015). Determination of phenolic compounds and antioxidant capacity of aqueous and ethanolic extracts of jambolan (*Syzygium cumini* L.). *Revista Brasileira de Plantas Medicinais,* 17, 267-273. https://doi.org/10.1590/1983-084x/12_181

Barros, L. da S., Mata, M. E. R. M. C., Martins, J. J. A., Sousa, F. M. de, Melo, M. O. P., Silva, M. B., Rêgo, L. V. C. do, & Moura, H. V. (2024). Trends and perspectives: The potential of Brazilian goat dulce de leche in the food industry. *Caderno Pedagógico,* **21(6), e5124. https://doi.org/10.54033/cadpedv21n6-222**

Capítulo 05

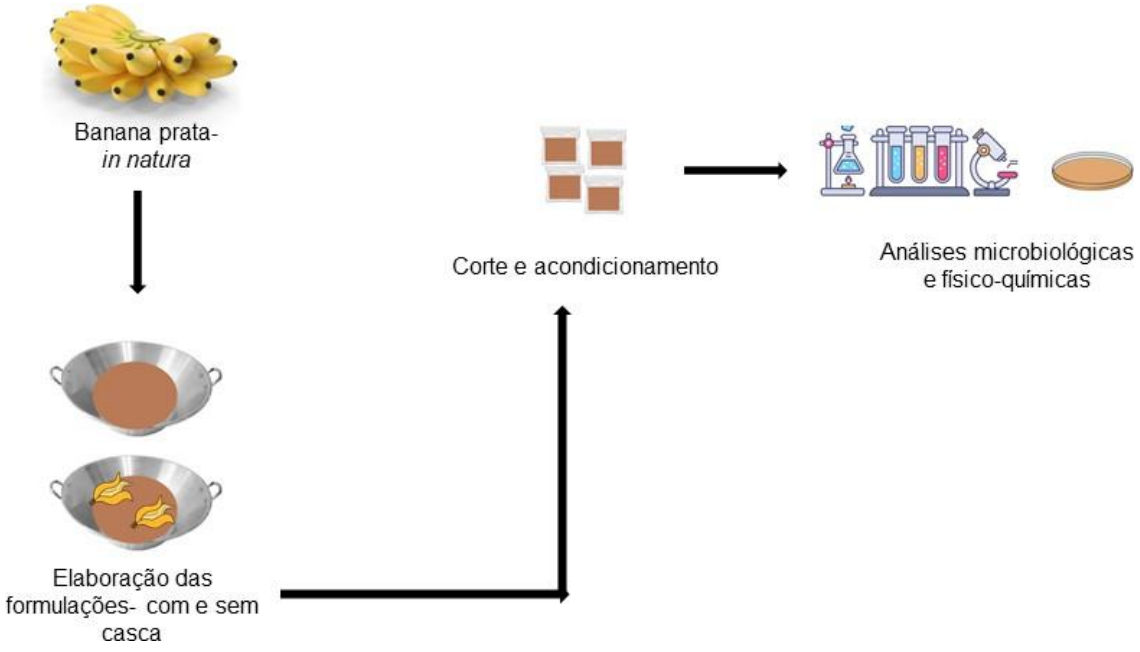
DOI: 10.53934/agronfy-2025-04-05

DESENVOLVIMENTO DE DOCE DE BANANA COM CASCA: APROVEITAMENTO INTEGRAL E SUSTENTÁVEL DO FRUTO

Wesley Pereira Freire[1]
Alexandre Santos de Souza[2]
Emília Kelly Barbosa Brito[3]

[1]Discente. Curso de Medicina Veterinária. IFNMG Campus Salinas;
[2]Prof. IFNMG – Campus Salinas;
[3]Discente. Curso de Engenharia de Alimentos. IFNMG Campus Salinas;

Resumo Gráfico



1. Introdução

O Brasil apresenta uma diversidade de frutas com características sensoriais e químicas atrativas à indústria de alimentos. Essa riqueza natural permite o desenvolvimento de uma variedade de produtos, sendo uma alternativa para o aproveitamento de frutas tropicais, como o maracujá, manga, umbu, abacaxi, banana, coco e cajá (Pannirselvan, 2015).

O País é o quarto maior produtor de banana do mundo, atrás apenas da

Índia, China e Filipinas. A produção anual da fruta no Brasil totalizou 6,9 milhões de toneladas no ano de 2022 segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Segundo o mesmo órgão, o brasileiro consome em média cerca de 25 quilos de bananas anualmente. Esse número não apenas reflete a disponibilidade da fruta no Brasil, mas também o apreço que os brasileiros têm por essa fruta versátil e rica em potássio, vitaminas e fibras (IBGE, 2022).

O agronegócio desempenha um papel fundamental na economia brasileira, sendo um dos pilares do desenvolvimento econômico do país. No entanto, esse setor é também apontado como um dos principais responsáveis pela geração de resíduos, que podem causar significativos impactos ambientais. Entre as atividades do agronegócio, as agroindústrias destacam-se por produzirem milhões de toneladas de resíduos oriundos do processamento de matérias-primas agropecuárias, especialmente vegetais. Apesar de o processamento ser considerado como custo operacional para as empresas, grande parte delas tem investido em suas capacidades de processamento destes resíduos buscando a fabricação de subprodutos que, além de evitar descartes incorretos e atenuar possíveis fontes de contaminação ambiental, muitas vezes podem representar receitas significativas para as empresas (Oliveira, 2020).

No mercado atual, há uma procura por produtos inovadores, pois os consumidores estão cada vez mais preocupados com a saúde e buscam por alimentos saudáveis, saborosos e práticos (Vieira *et al.,* 2016).Atrelado a isso, tem-se a demanda por aproveitamento de resíduos, que, além de agregar valor ao setor da indústria com a possibilidade de desenvolvimento de novos produtos alimentícios, reduz o passivo ambiental e colabora para a sustentabilidade das cadeias produtivas do agronegócio.

É evidente que o aproveitamento de resíduos, além de agregar valor ao setor da indústria com a possibilidade de desenvolvimento de novos produtos alimentícios, reduz o passivo ambiental e colabora para a sustentabilidade das cadeias produtivas do agronegócio. Soma-se a isso, o investimento positivo em alimentos funcionais e nutritivos para atender a nova demanda crescente no país. (Sá, 2022).

Entre os derivados mais tradicionais da banana no Brasil, destaca-se o doce de banana, que é amplamente produzido e consumido em diversas regiões do país. Caracterizado pelo baixo custo e alto teor energético, o doce de banana geralmente apresenta uma alta concentração de açúcares refinados em sua formulação, o que

contribui para sua textura, sabor adocicado e vida útil prolongada. Entretanto, considerando as tendências atuais por alimentos mais saudáveis, surge a oportunidade de desenvolver versões do doce de banana que utilizem integralmente a fruta, incluindo a casca, e reduzam o teor de açúcar adicionado, conferindo novos atributos funcionais ao produto.

Dessa forma, o presente estudo propôs a elaboração de doces de banana em massa utilizando tanto a polpa quanto a banana integral (polpa e casca), analisando suas características físico-químicas e microbiológicas. O objetivo foi, além de propor um aproveitamento integral da fruta, verificar a viabilidade de introduzir esses produtos no mercado como alternativas nutritivas, sustentáveis e em conformidade com as expectativas do consumidor moderno. Os resultados obtidos contribuíram para avaliar os impactos das formulações sobre os atributos de qualidade do produto, além de explorarem a possibilidade de redução de resíduos e o aumento de valor agregado no setor agroindustrial.

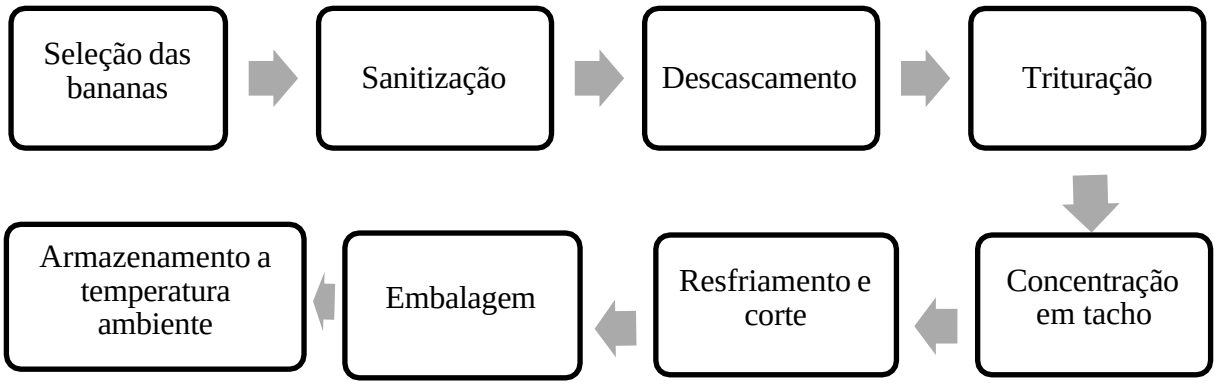
2. Metodologia

2.1 Elaboração dos doces

Foram elaboradas, no Setor de Vegetais, do IFNMG- campus Salinas, duas formulações de doce de banana da variedade prata (Musa acuminata Cavendish Subgroup), sendo uma apenas com a polpa (doce de polpa de banana) e a segunda formulada a partir de 70% de polpa e 30% de casca (doce de banana integral). Os frutos apresentavam-se em estágio de maturação elevado (coloração amarela com pontos escuros) sendo obtidas em propriedade situada no município de Taiobeiras-MG.

O esquema da Figura 1 representa o processo geral de elaboração dos doces.

Figura 1- Fluxograma de elaboração dos doces de banana



As bananas foram despencadas e pesadas em balança, lavadas e sanitizadas com água clorada a 10 mg/kg, as polpas de banana e casca foram trituradas até formar uma espécie de purê homogêneo, com auxílio de liquidificador industrial. A produção dos doces foi realizada em tacho e, após resfriamento, embalados em sacos plásticos desinfetados e armazenados à temperatura ambiente.

2.2 Análises físico químicas

Após a elaboração das duas formulações de doce de banana, foram submetidos a análises físico-químicas de Sólidos Solúveis Totais, pH e umidade, conforme metodologias descritas por Lutz, (2008). Todos os testes foram feitos em triplicata.

2.2.1 Teor de Sólidos Solúveis Totais (SST)

O teor de sólidos solúveis totais foi determinado por leitura direta em refratômetro eletrônico portátil, com escala em graus (°BRIX) onde amostras dos doces foram dispostas diretamente no medidor.

2.2.2 *pH*

O pH foi determinado utilizando-se pHmetro previamente calibrado, após, as amostras foram diluídas em água destilada, concentração (1:1) e o pH foi aferido.

2.2.3 *Umidade*

A umidade nas amostras foi determinada pesando, inicialmente, placas limpas e previamente secas em estufa a 105ºC por três horas e depois resfriadas em dessecador. Em seguida, foram pesadas 50g de cada amostra nas placas previamente preparadas. Posteriormente, as mesmas foram levadas para a estufa pré-aquecida a 105ºC±5°C. Em intervalos de 60 minutos as amostras foram levadas ao dessecador durante 30 minutos e após pesadas até obtenção de peso constante. O teor de umidade foi determinado por meio da Equação 1.

Umidade%: (A-B) / Cx100 (Eq.1)

A: Peso da Cápsula + amostra úmida
B: Peso da Cápsula + amostra seca

C: Peso da amostra úmida

2.3 Análise microbiológica

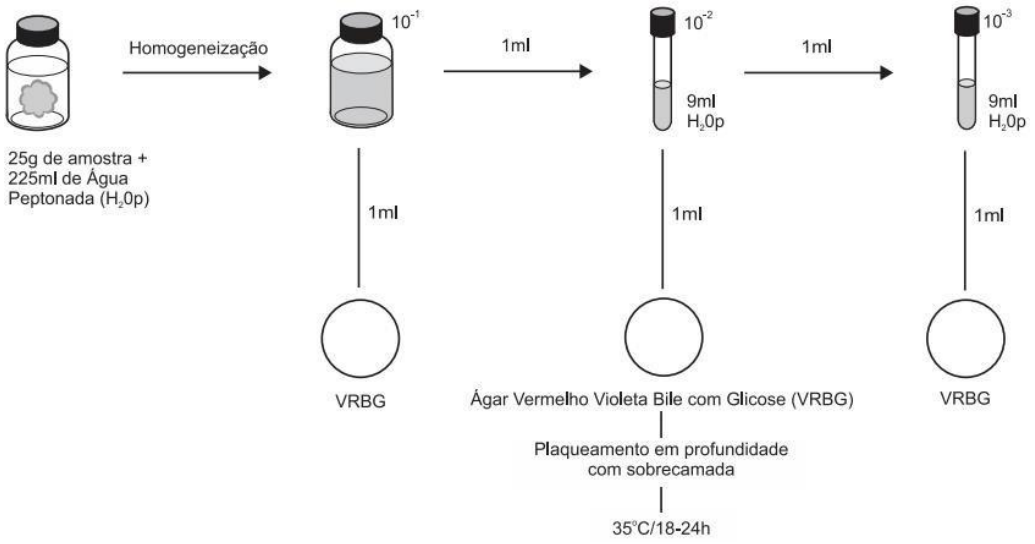
As análises microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Microbiologia do IFNMG-*Campus* Salinas, seguindo os padrões microbiológicos dispostos na (RDC) n° 331, (BRASIL, 2019a) e Instrução Normativa n° 60 (BRASIL, 2019b).

Para “doces em pasta” são exigidas análises de *Salmonella* ssp., Enterobactérias e bolores e leveduras. Os resultados obtidos foram comparados aos limites das normas supracitadas. Foram realizadas duas repetições das análises no primeiro e sétimo dia após elaboração dos doces.

Enterobactérias

Para análise de enterobactérias adotou-se a metodologia descrita por Silva (2018) e esquematizado na Figura 2.

Figura 2- Esquema de análise para contagem de enterobactérias



Fonte: Adaptado de Silva (2018)

Para tal cinco amostras de cada produto foram retiradas assepticamente, destas, 25g foram homogeneizadas em 225 mL de água peptonada a 0,1% para obtenção da diluição 10^{-1}, a partir desta, foram selecionadas mais duas diluições decimais (10^{-2}, 10^{-3}) em tubos de ensaio com 9 mL de água peptonada tamponada 0,1%.

Utilizou-se o Ágar Vermelho Violeta Bile Glicose (VRBG) como meio de cultivo

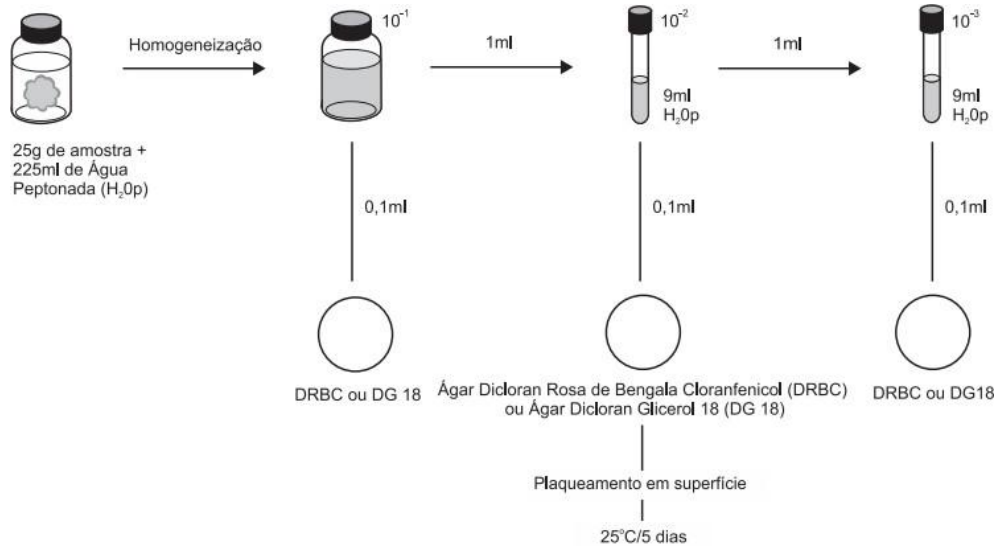
e técnica de plaqueamento em profundidade, na qual, após a completa solidificação do meio, depositou-se 1 mL de cada diluição nas placas, em duplicata, cobriu-se com uma sobrecamada de 5-8 ml do mesmo meio. Após, as placas foram incubadas na posição invertida, a 35 ºC/18-24h.

Em seguida, foram selecionadas placas com 15-150 colônias e realizou-se a contagem de colônias colônias típicas de enterobactérias no VRBG (vermelho púrpura, com 0,5mm ou mais em diâmetro, rodeadas por um halo avermelhado de precipitação de sais biliares).

Bolores e Leveduras

Já para contagem de bolores e leveduras, foi empregada a técnica de plaqueamento em superfície, como esquematizado na Figura 3.

Figura 3- Esquema de análise para contagem de bolores e leveduras



Fonte: Adaptado de Silva (2018)

Assim, foram homogeneizados 25g de cada amostra reconstituídos em 225mL de água peptonada tamponada, em três diluições (10^{-1}, 10^{-2} e 10^{-3}) após, foi inoculado 0,1mL ao meio de cultura Ágar Batata Dextrose (BDA), adicionado de Ácido Tartárico, espalhou-se o inóculo com uma alça de Drigalski, das placas de maior para as placas de menor diluição, até que todo o excesso de líquido fosse absorvido e as placas incubadas a 25°C por 3 a 5 dias (SILVA *et al.,* 2018). Foi realizada a contagem de colônias, os quais foram expressos em unidades formadoras de colônias (UFC/g), selecionando as placas com 10 a 150 colônias.

Salmonella

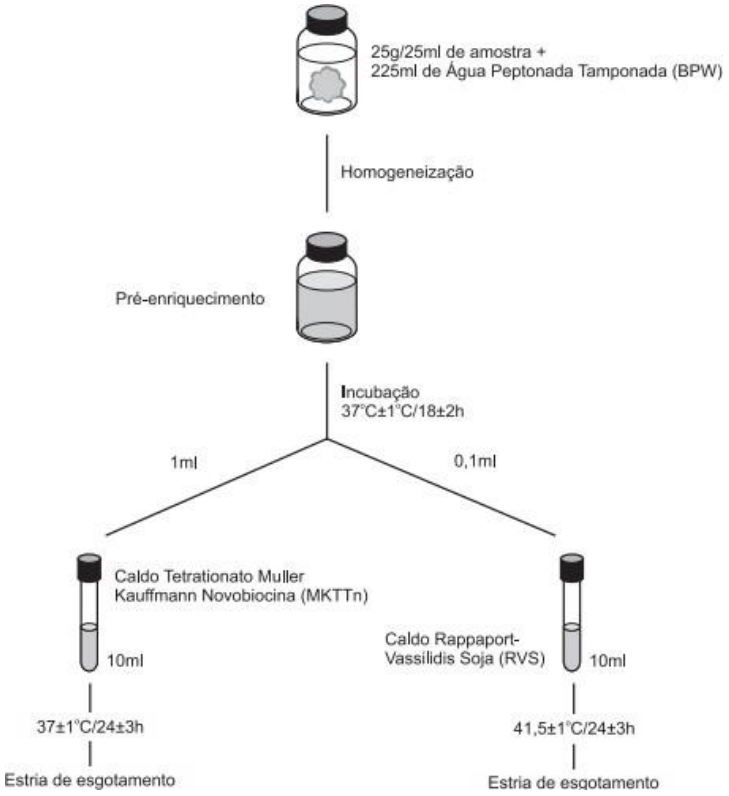
Para a detecção de *Salmonella spp.*,foram realizadas 10 unidades amostrais

das quais retirou-se uma alíquota de 25g de cada, homogeneizando-as em 225 ml de Água Peptonada Tamponada e incubadas a 37 ± 1 ºC/18 ± 2h. Após, agitou-se cuidadosamente o frasco de pré-enriquecimento e transferiu-se 0,1 ml para 10 ml de Caldo Rappaport-Vassilidis Soja (RVS) e 1 ml para 10 ml de Caldo Tetrationato Muller Kauffmann Novobiocina (MKTTn).

Foram incubados o Caldo RVS a 41,5 ± 1 ºC/24 ± 3h e o Caldo MKTTn a 37 ± 1 ºC/24 ± 3h. De cada cultura em RVS, estriou-se uma alçada em Ágar Xilose Lisina Desoxicolato (XLD) e uma alçada em BPLS (Verde Brilhante Vermelho de Fenol).

O mesmo processo foi repetido com o caldo MKTTn, como registrado na Figura 4.

Figura 4- Esquema de análise inicial de Salmonella



Fonte: Adaptado de Silva (2018)

Após, as placas de XLD e BPLS foram incubadas invertidas, a 37 ± 1 ºC/24 ± 3h. (SILVA *et al.,* 2018). Posterior ao período de incubação verificou-se possível desenvolvimento de colônias típicas de Salmonella nos meios de plaqueamento diferencial. Aquelas que apresentaram crescimento de colônias positivas isolou-se cinco típicas para a confirmação, com uma agulha de inoculação, inoculadas em tubo inclinado de TSI e LIA, por picada e estrias na rampa. Os tubos foram incubados a 37

± 1 ºC/24 ± 3h, com as tampas ligeiramente afrouxadas, para manter condições aeróbicas e prevenir a excessiva produção de H2S.

Por fim, foi observada a ocorrência ou não de reação típica de *Salmonella*, com rampas/fundos alcalinos ou ácidos, de acordo com a reação típica em cada meio.

2.4 Análise estatística

As duas amostras de doce de banana foram analisadas em triplicata. Os resultados foram expressos como média ± desvio padrão através do *software* Excel.

4. Resultados e Discussões

Após a elaboração das diferentes formulações de doces de banana, foi realizado um conjunto de análises físico-químicas para identificar as propriedades e características de cada amostra. Esses testes visaram fornecer um perfil detalhado do comportamento das formulações e contribuir para o aprimoramento dos processos produtivos e da qualidade final dos produtos.

Os resultados das análises físico-químicas estão apresentados na Tabela 1, que descreve os parâmetros avaliados em cada tipo de doce desenvolvido no presente estudo.

Tabela 1: Perfil físico-químico das amostras de doce de banana

Parâmetros	DP	DI
Umidade (%)	41,5 ± 0,8	48,36 ± 1,2
pH	4,50 ± 0,03	4,51 ± 0,02
Sólidos Solúveis (°Brix)	54 ± 1,5	46 ± 1,2

DP= doce da polpa de banana sem adição de açúcar; DI = doce de banana integral com adição de casca.
Fonte: Autoria própria, 2024.

Os valores de umidade observados foram de 41,5% para o DP e 48,36% para o DI, superando os índices relatados por Souza (2017) e Godoy (2010). Essa diferença pode ser explicada pela formulação do DP, que não contém açúcar, o que reduz a capacidade do produto de reter água. Por outro lado, no caso do DI, a incorporação da casca contribui para uma matriz mais hidrofílica, responsável por

maior retenção de água. As duas formulações apresentaram valores de pH praticamente iguais (4,50 e 4,51) e dentro dos intervalos relatados na literatura para doces à base de banana. Contudo, é possível inferir que as diferenças na composição química entre o doce com polpa sem açúcar e aquele que inclui a casca podem exercer influência discreta nesse parâmetro.

Já os valores de 54°Brix para o DP e 46°Brix para o DI foram inferiores aos relatados em outros estudos, como os de Souza (2017) e Oliveira Neto (2018).

A ausência de açúcar nas formulações justifica essa redução nos sólidos dissolvidos, indicando o potencial desses doces para consumidores que buscam alimentos com menor adição de açúcar.

Análises microbiológicas

Os resultados das análises microbiológicas encontram-se na Tabela 2, conforme a metodologia, realizou-se duas repetições para certificação dos resultados, além de realização no 1° e 7° dia após a elaboração das amostras.

Tabela 2: Perfil microbiológico em relação à análise de Enterobactérias, Bolores e Leveduras e *Salmonella* nas diferentes formulações de doce de banana (UFC/g) - Dia 1.

Formulação	**DP**	**DI**
Enterobactérias	$< 1,0 \times 10^1$	$< 1,0 \times 10^1$
Bolores e Leveduras	$<1,0 \times 10^1$	$<1,0 \times 10^1$
Salmonella	Ausência	Ausência

Fonte: Autoria própria, 2024.

Para as análises microbiológicas, ambas as formulações apresentaram resultados satisfatórios para enterobactérias e bolores e leveduras ($< 1,0 \times 10^1$ UFC/g) e ausência de *Salmonella*, atendendo aos critérios da RDC nº 331/2019. Sete dias após a elaboração dos doces, realizou-se as mesmas análses sendo os resultados registrados na Tabela 3.

Tabela 3: Perfil microbiológico em relação à análise de Enterobactérias, Bolores e Leveduras e *Salmonella* nas diferentes formulações de doce de banana (UFC/g) - Dia 7.

Formulação	DP	DI
Enterobactérias	$< 1,0 \times 10^1$	$< 1,0 \times 10^1$
Bolores e Leveduras	$<1,0 \times 10^1$	$>1,0 \times 10^1$
Salmonella	Ausência	Ausência

Fonte: Autoria própria, 2024.

Notou-se que para a formulação de doce com adição de casca, após sete dias de elaboração apresentou contagem elevada de bolores e leveduras (> 1,0 x 10^1 UFC/g) indicando que a combinação de alta umidade e armazenamento em temperatura ambiente foi um fator crítico para o desenvolvimento microbiano. Esses resultados evidenciam a necessidade de avaliar o uso de estratégias para aumentar a estabilidade microbiológica, como a adição de conservantes naturais ou o armazenamento sob refrigeração.

De forma geral, as diferenças nos parâmetros físico-químicos e microbiológicos das formulações podem ser atribuídas às escolhas dos ingredientes e métodos de processamento.A utilização da casca de banana na formulação integral reforça a importância do aproveitamento integral dos frutos, mas ressalta desafios relacionados à sua estabilidade.

Esses resultados abrem espaço para futuras investigações, como a inclusão de compostos bioativos naturais com potencial antifúngico e o estudo de condições de armazenamento ideais para ampliar a vida útil dos produtos desenvolvidos.

5. Conclusão

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam o potencial das formulações desenvolvidas para inserção no mercado, destacando especialmente o doce integral com aproveitamento da casca de banana como uma alternativa inovadora e sustentável. A incorporação da casca não apenas agrega valor nutricional, devido ao aumento do teor de fibras, mas também contribui para a redução do passivo ambiental, alinhando-se às demandas crescentes por práticas mais sustentáveis na indústria alimentícia.

Entretanto, desafios foram identificados, particularmente em relação à estabilidade microbiológica da formulação integral (DI) e ao ajuste nos níveis de sólidos solúveis, que podem influenciar tanto a aceitação sensorial quanto a vida útil do produto. Essas limitações ressaltam a necessidade de intervenções como o uso de conservantes naturais com propriedades antifúngicas e a implementação de condições de armazenamento mais controladas, como refrigeração, para garantir a qualidade e segurança microbiológica dos produtos.

Este estudo também abre novas perspectivas para futuras pesquisas, como a exploração de compostos bioativos naturais que possam atuar como aditivos funcionais e antimicrobianos, além de investigar processos que ampliem a durabilidade e as propriedades sensoriais de produtos baseados em resíduos agroindustriais. Assim, esses resultados reforçam o potencial do aproveitamento integral de frutas como estratégia para o desenvolvimento de alimentos funcionais inovadores, contribuindo para a sustentabilidade e diversificação do mercado de produtos alimentícios.

6. Referências Bibliográficas

Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. (2019a, dezembro 23). Resolução - RDC nº 331, de 23 de dezembro de 2019. Dispõe sobre os padrões microbiológicos de alimentos e sua aplicação. Diário Oficial da República Federativa do Brasil.

Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. (2019b, dezembro 23). Instrução Normativa n° 60, de 23 de dezembro de 2019. Estabelece as listas de

padrões microbiológicos para alimentos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil.

de Oliveira Neto, J. O., de Oliveira, E. N. A., Feitosa, B. F., de Oliveira Germano, A. M. L., & Feitosa, R. M. (2018). Aproveitamento da casca de banana na elaboração de doce tipo mariola. Científica, 46(3), 199-206.

Godoy, R. C. B. D. (2010). Estudo das variáveis de processo em doce banana de corte elaborado com variedade resistente à sigatoka-negra.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (n.d.). Produção de banana. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/banana/br

Instituto Adolfo Lutz. (2008). Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos físico-químicos para análises de alimentos (4ª ed.). São Paulo: Instituto Adolfo Lutz.

Oliveira, M. C. F., & Pandolfi, M. A. C. (2020). Estudo bibliográfico: aproveitamento integral na elaboração de subprodutos na indústria alimentícia. Revista Interface Tecnológica, **17(1),** 797-806.

Pannirselvan, P. V., Marie, C., Mathias, J. M., & Tamil, S. (2015). Estudo de sistema integrado de gestão tecnológica e bioeconomia: Inovação de produtos de frutas tropicais e bioenergia. Advances in Cleaner Production.

Sá, A. A. D., & Messias, C. M. B. D. (2022). Desenvolvimento de produtos alimentícios a partir do aproveitamento integral dos alimentos com destaque para manga e banana: revisão de literatura. Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos, 6, 85-101.

Souza, D. G. (2017). Avaliação da qualidade físico-química e quantificação dos compostos bioativos em diferentes produtos comerciais à base de vegetais.

Vieira, C. R. (2016). Efeito de uma bebida funcional à base de farinha de banana (*Musa spp*.) verde sobre a microbiota intestinal, níveis de citocinas e capacidade antioxidante em mulheres com excesso de peso e adiposidade abdominal.

Capítulo 06

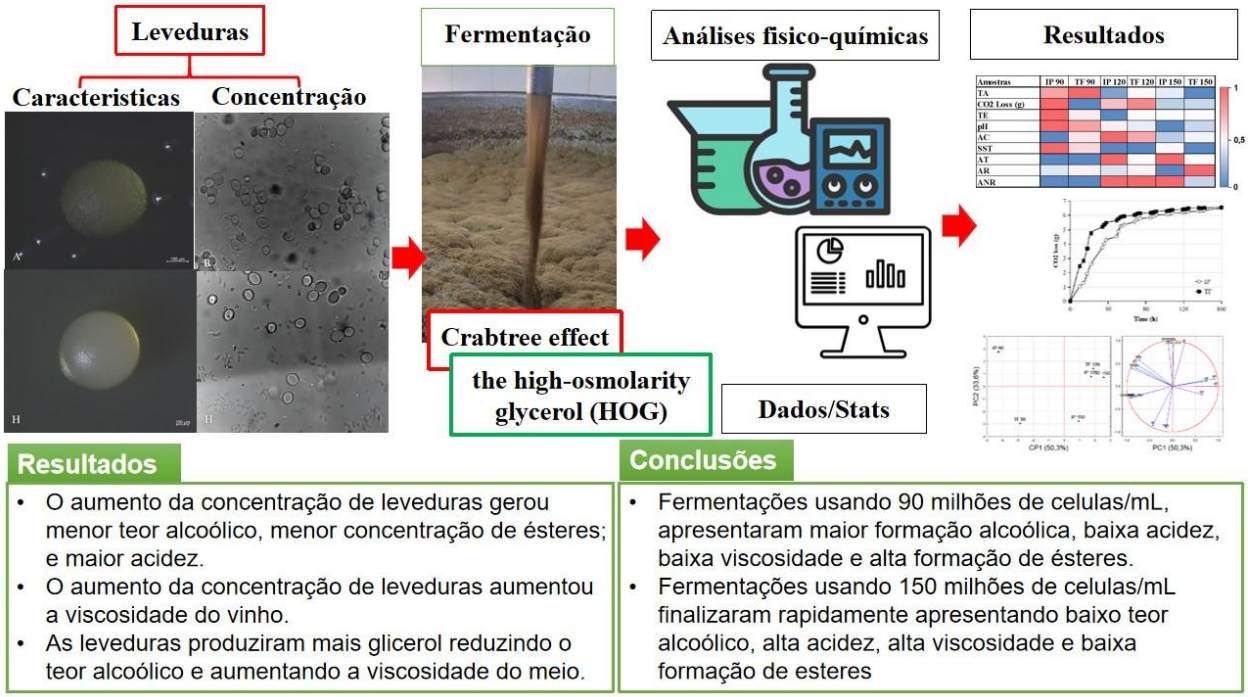
DOI: 10.53934/agronfy-2025-04-06

A INFLUÊNCIA CONCENTRAÇÃO DE LEVEDURAS NA FORMAÇÃO DE ETANOL E ESTERES DURANTE FERMENTAÇÃO USANDO MOSTOS DE MÉDIA DENSIDADE

Luanna Maia[1];
Levi Felizardo[1];
Júlia Bizerra-Santos[1];
Normando Ribeiro-Filho[1*]

1Laboratório de Tecnologia de Produtos Agropecuários, DSER, CCA, Universidade Federal da Paraíba-UFPB, Areia, Paraíba, Brasil
*E-mail para correspondência: normandofilho@cca.ufpb.br

Resumo gráfico



1. Introdução

A indústria cervejeira e vinícola tem muitos estudos voltados à identificação, caracterização e aplicação de leveduras; porém, pouco desses estudos tem potencial

de adaptação para indústria de destilados e existe pouco conhecimento sobre as leveduras provenientes da cana-de-açúcar. As produções de cachaça utilizam fermento de padeiro ou levedura seca ativa para a produção de etanol como iniciador para o processo de fermentação, enquanto os produtores tradicionais usam fermentos natural (fermentação espontânea) cultivados por vários métodos (Rosa et al. 2009). No início da safra, os produtores, utilizam leveduras existentes no próprio caldo da cana-de-açúcar e preparam um inóculo (“pé-de-cuba)” utilizando farelo de arroz, farinha de milho e/ou bagaço de cana misturados com suco de cana diluído e/ou suco de limão ou laranja para baixar o pH. Porém, todas estas técnicas utilizadas pela indústria da cachaça não têm comprovação científica, sendo adaptações realizadas a partir do conhecimento aplicado de outras indústrias e/ou por conhecimento popular. Apesar da importância do conhecimento popular, se faz necessário ampliar os estudos dos processos para a indústria da cachaça.

Geralmente, a fermentação para produção de cachaça dura de 18 a 30h, dependendo da concentração do mosto, concentração de leveduras e temperaturas local (fermentações conduzidas em sistemas abertos que dependem da temperatura ambiente)(Ribeiro-Filho, 2020). Temperaturas podem variar de acordo com cada região produtora podem chegar a 41°C (Vianna et al. 2008). Embora, os parâmetros de controle pareçam dominados, a necessidade de melhorias para aumentar controle e a qualidades das cachaças são claras; destacamos, principalmente, o desconhecimento das características das leveduras provenientes das produções de cachaças paraibanas como ponto chave e que domesticar as leveduras pode vir a contribuir exponencialmente com o aumento de controle e qualidade das cachaças. Considerando a diversidade ecológica e variedades de cana-de-açúcar, basicamente, o caldo de cana-de-açúcar contém média de 26 mil leveduras/mL que são propagadas e utilizadas no processo de fermentação (Ribeiro-Filho, 2020, Felizardo et al., 2023). Porém, conceitos básicos como quantidade de leveduras inoculadas, influencia da concentração do mosto e controle de temperatura durante a fermentação; e as características das cepas (incluindo potencial de produções de aromas) não é dominado pelos produtores.

A concentração de levedura (CL) e a densidade do mosto (DM) desempenham um papel fundamental na formação da produção de etanol, glicerol e compostos de sabor (incluindo ésteres) durante a fermentação. Apesar do influência da

concentração de levedura na velocidade de fermentação ser conhecida, a formação de etanol e ésteres influenciada pela CL e DM não são totalmente compreendidos. Portanto, este trabalho investigou a influência da CL e da DM na formação de etanol e ésteres. Antecipamos que os resultados contribuirão com a melhor conhecimento sobre as leveduras autóctones provenientes da cana-de-açúcar utilizadas pelas unidades produtoras de cachaça. Consequentemente, melhorar o controle do processo de fermentação devido ao balanco entre concentração de leveduras e densidade do mosto. Os resultados contribuirão com o banco de leveduras, e em breve, no desenvolvimento do setor sucroalcooleiro como alicerce do patrimônio alimentar, genético, histórico e cultural paraibano/brasileiro.

2. Metodologia

2.1 Obterção de leveduras

Foram utilizadas leveduras do banco de leveduras do CCA/UFPB, que foram isoladas das unidades de produção de cachaça paraibanas.

2.2 Propagação de microrganismos

Cada microrganismo foi cultivado por incubação em YPD (2% glicose, 1% extrato de leveduras e 2% peptona) durante 48 horas a 30 ° C.

2.3 Mini-Fermentações

As fermentações em miniatura (FMs) serão conduzidas usando recipientes de vidro estéreis de 250 mL com tampa acoplado um airlocker. Alíquotas de 200 ml de mosto síntético (90 g de sacarose, 18g de glicose, 12 g de frutose, 10g de extrato de levedura, 20 g de peptona dissolvidos em destilada, aferida em balão volumétrico de 1 L e autoclavada à 121 °C por 15 min). Foram inoculadas com $90x10^7$, $120x10^7$, e $150x10^7$ células/mL. As fermentações foram realizadas a 30 °C durante 24 h, em triplicata monitorando a perda de CO_2. Após a fermentação, o mosto fermentado foi separado em vinho e leveduras por centrifugação. O vinho foi submetido as análises fisico-químicas, incluindo pH, acidez total, sólidos solúveis, açúcares redutores totais, açúcares redutores, teor alcoólico e ésteres.

2.4 Viabilidade celular (%)

A viabilidade foi determinada usando avaliação de azul de metileno. 100 mL de azul de metileno (solução estoque de 0,01 g/L) foi dissolvido em solução de citrato de

sódio (2% p/v) para uma concentração final de 0,01% (Pierce, 1970). A suspensão de levedura (0,5 mL) foi misturada com solução de azul de metileno (0,5 mL) e incubada por 5 min em temperatura ambiente examinada usadno microscópio (Leitz, Diaplan Microscope). A viabilidade foi calculada considerando a distinção entre células vivas e mortas, foi expressa como uma porcentagem (Da-Silva *et al.*, 2023).

2.5 Parâmetros cinéticos

A descrição da cinética de fermentação será realizada pela velocidade específica de crescimento celular (μ_x), de consumo de substrato (q_s) e de formação do produto (q_p); Fatores de conversão: de substrato em biomassa ($Y_{X/S}$), de substrato em produto ($Y_{P/S}$) e de produto em relação ao crescimento celular ($Y_{P/X}$); produtividade média (ou volumétrica) da biomassa e produto (P_X e P_P).

2.6 Análise estatística

Os dados foram analisados por ANOVA com teste post hoc de Tukey ($p < 0,05$) para encontrar diferenças significativas ($p < 0,05$) usando o Microsoft Excel® e o software Statistica® (versão 5.0). A análise de componentes principais (PCA) foi realizada usando o software Statistica® (versão 5.0). A PCA foi aplicada para reduzir a dimensionalidade de conjuntos de dados multivariados complexos com o objetivo de melhorar a interpretabilidade e ajudar na identificação de tendências e correlações entre tratamentos e amostras. Os Critérios de Kaiser, baseados em autovalores maiores que 1 e variância cumulativa > 60%, foram usados para descrever e selecionar os dados para análise.

3. Resultados

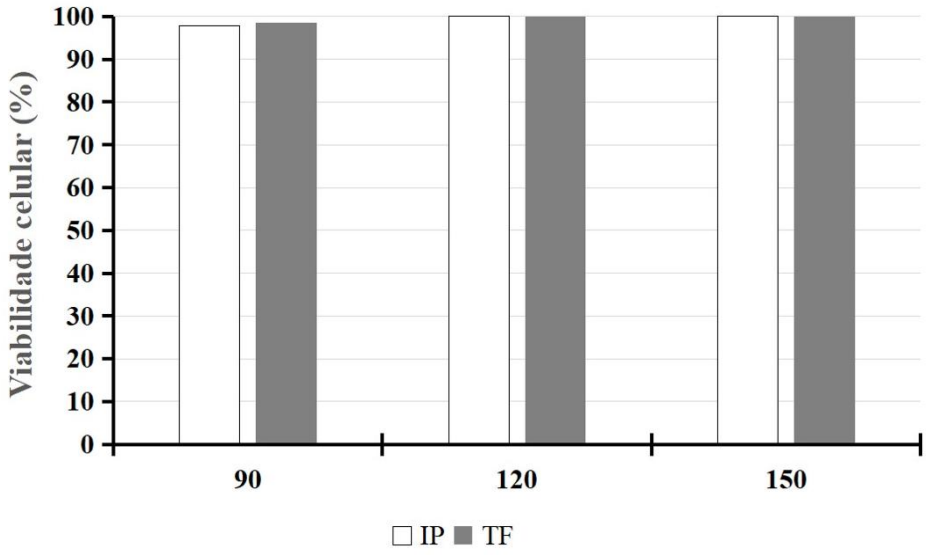
Foram isoladas duas cepas de leveduras coletadas em duas unidades de produção de cachaça. Alíquotas de 200 mL de mosto sintético preparado a 15 °Brix foram adicioadas a mini-fermentadores com capacidade de 250 mL adaptados com airloker. Foram inoculadas de $90x10^7$, $120x10^7$ e $150\ x10^7$ células/mL. As fermentações foram realizadas a 30 °C durante 24 h monitorando a perda de CO_2, em triplicata. Após a fermentação, o mosto fermentado foi separado em vinho e leveduras por centrifugação. O vinho passou por diversas análises, incluindo pH, acidez total, sólidos solúveis, açúcares redutores totais, açúcares redutores, teor alcoólico, e ésteres totais. Foram calculados os parâmetros cinéticos de fermentação. Todas os

parâmetros fisico-químicos e cinéticos foram submetidos a análise estatistica univariada e multivariada utilizando software Statistica 5.0®.

3.1 Influencia da concentração de leveduras na viabilidade celular

A viabilidade da levedura é um indicador importante da qualidade e desempenho da fermentação, o efeito geral dos tratamentos usando diferentes concentrações de leveduras na viabilidade da levedura é mostrado na Figura 1. Os resultados mostraram que todas as fermentação apresentou viabilidade da levedura de 100% quando comparada ao controle de fermentações, não apresentando nenhuma diferença significativa na viabilidade, o que é um ótimo sinal porque qualquer mudança relacionada aos produtos finais avaliados será uma resposta metabolica da levedura (Figura 1). Portanto, excluiu qualquer influência causada pela morte da levedura.

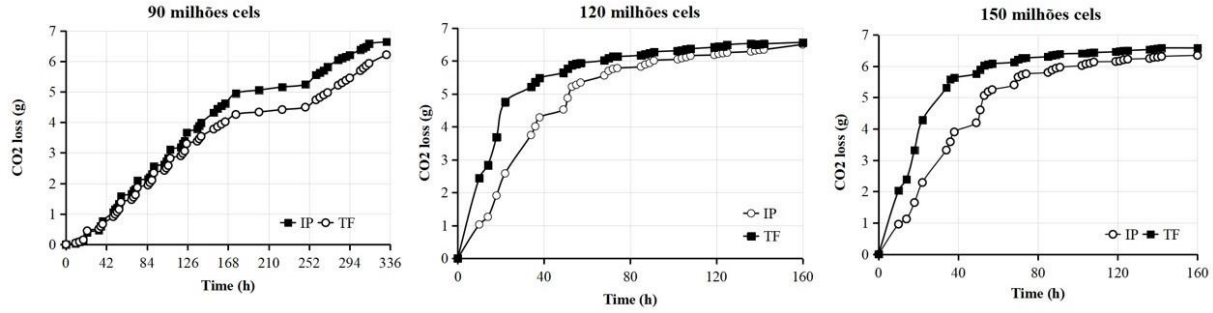
Figura 1: Viabilidade celular das leveduras (IP e TF) submetidas a fermentações em mosto com desidade média (15° Brix) com inoculação variando de $90x10^7$, $120x10^7$, e $150 x10^7$ células/mL. Cada valor avaliado em 3 réplicas e barra de erro mostrada pelo desvio padrão.



3.2 Influencia da concentração de leveduras na performan ce fermentativa

Figura 2: Comparação da fermentação de mostos usando diferentes concentrações de leveduras inoculadas em um mosto de média densidade (15° Brix). As

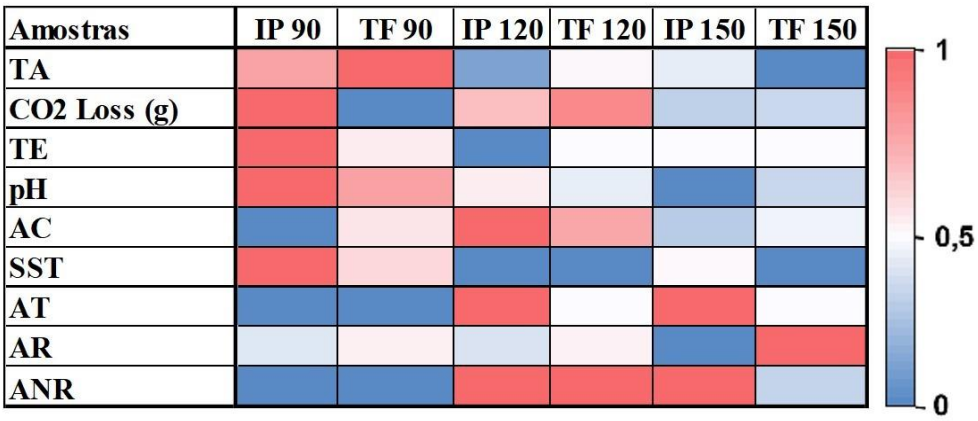
fermentações foram acompanhadas por média cumulativa de perda de CO_2 (g). Foram utilizadas duas leveduras selecionadas de dois engenhos de cachaça (IP e TF). Cada valor avaliado em 3 réplicas e barra de erro mostrada pelo desvio padrão.



A perda de CO_2 (CO_2 loss) é uma forma eficaz de avaliar a performance de fermentação de leveduras. Como esperado, todas as fermentações avaliadas apresentaram perda de CO_2 proxima a 6 g/100 mL (60 g/L); porém, o aumento da concentração de leveduras aumentou a velocidade de fermentação, como esperado (Figura 2). As fermentações contendo 90 milhões de células/mL terminaram a 336 h. As fermentações contendo 120 milhões de células/mL apresentaram perda de CO_2 de 60 g/L a 96 h (levedura IP) e 72 h (levedura TF). As fermentações contendo 120 milhões de células/mL apresentaram perda de CO_2 de 60 g/L a 96 h (levedura IP) e 48 h (levedura TF). A cepa TF apresentou melhor performance de consumo de substrato do que a cepa IP. Todas as cepas testadas usando diferentes concentrações consumiram quantidade semelhante de carboidratos confirmadas pelas suas perdas similares de CO_2.

3.3 Influência da concentração de leveduras na qualidade do fermentado

Figura 3: Um gráfico de calor contendo os dados fisico-químicos das fermentações



Os carboidratos disponíveis no mosto sintético utilizado neste estudo incluem sacarose, glicose e frutose em quantidades médias similares ao caldo de cana-de-açúcar. As amostras IP90 e TF90 apresentaram consumo total dos açúcares totais incluindo açúcares redutores (AR, expressos em glicose) e açúcares não redutores (ANR, expressos em sacarose) (Figura 3/Tabela S1). As amostras IP120, TF120, IP150 e TF150 que apresentaram 2 % de açúcares totais ao final da fermentação (Figura 3/Tabela S1). Estas amostras apresentaram maior residual de sacarose (ANR) do que glicose (AR)(Figura 3/Tabela S1). Ao final da fermentação, os valores encontrados de sólidos solúveis variam de 6 a 9 °Brix (Figura 3/Tabela S1). Isso indica que além dos açúcares existem outros sólidos dissolvidos (incluindo aminoácidos/pequenos peptídeos/peptídeos/polipeptídeos, vitaminas, minerais, lipídeos, etc) e a presença de pequenas leveduras não separadas pela centrifugação devido a suas baixas densidades (Ribeiro-Filho et al. 2021).

Teor alcoólico, acidez e a formação de ésteres são de grande importância para a qualidade das bebidas alcoólicas. As amostras IP90 e TF90 apresentaram os maiores teores alcoólicos do que as demais amostras avaliadas (Figura 3/Tabela S1). Amostra TF150 apresentou menor teor alcoólico entre todas as amostras avaliadas (Figura 3/Tabela S1). Os experimentos que foram conduzidos com menores concentrações de leveduras apresentaram maior geração de etanol (Figura 3/Tabela S1). Portanto, as cepas IP e TF reduziram a geração de alcoól quando a suas concentrações de inoculação foram aumentadas (Figura 3/Tabela S1). Observando a formação de ésteres totais (ET) gerado, IP90 (166 mg/100 mL a.a) apresentou maior concentração de ET (Figura 3/Tabela S1). Por outro lado, a IP120 (68 mg/100 mL a.a)

apresentou menor concentração de ET (Figura 3/Tabela S1). Os experimentos que foram conduzidos com menores concentrações de leveduras apresentaram maior geração de ET (Figura 3/Tabela S1). Quanto a acidez, a amostras IP120 (12 mg/100mL) apresentou a maior acidez, em contraste, a amostra IP90 (8,6 mg/100mL) apresentou a menor acidez (Figura 3/Tabela S1). A cepa IP aumentou a geração de ácidos orgânicos quando a suas concentrações de inoculação foram aumentadas (Figura 3/Tabela S1). Por outro lado, a cepa TF não apresentou diferenças significativas quando a concentração de ácidos organicos quando a suas concentrações de inoculação foram aumentadas (Figura 3/Tabela S1). Portanto, fermentações conduzidas com 90 milhões de células/mL apresentaram maior formação alcoólica, alta formação de ésteres, baixa acidez, e baixa viscosidade. Por outro lado, fermentações contendo 120 ou 150 milhões de celulas/mL aumentaram a velocidade fermentativa, mas apresentam baixo teor alcoólico e reduzem a formação de ésteres.

3.4 Influência da concentração de leveduras na qualidade do fermentado

Os parâmetros cinéticos de fermentação (velocidade específica de crescimento microbiano (μ), tempo de duplicação celular (td), velocidade especifica de consumo de substrato (q_s), velocidade especifica de formação de etanol (q_p), e Y - rendimento) são essenciais para a compreensão do processos fermentativos. Resultados revelam que a amostra TF120 apresentou maior velocidade especifica de crescimento microbiano (μ=0,014 h^{-1}) que resultou um menor tempo de duplicação (td=51 h), maior velocidade especifica de consumo de substrato (q_s=0,4 h^{-1}) e maior rendimento de CO_2 por grama de substrato consumido ($Y_{CO2/S}$=0,61 g de CO_2/g de substrato) (Tabela 1). Por outro lado, as amostras TF90 e IP150 apresentaram velocidade específica de crescimento microbiano (μ=0,003 h^{-1}) que resultou em maiores tempo de duplicação e baixa velocidade específica de consumo de substrato. As amostras IP90 ($Y_{CO2/etOH}$=0,97 g de CO_2/g de etanol) e TF90 ($Y_{CO2/etOH}$=0,76 g de CO_2/g de etanol) apresentaram menores rendimento de CO_2 por grama de etanol gerado, assim como, menores rendimento de CO_2 por grama de substrato consumido ($Y_{CO2/S}$=0,5 g de CO_2/g de substrato) (Tabela 1). A velocidade específica de crescimento aumentou com o aumento da concentração de leveduras inoculadas; porém, as amostras IP120 e TF120 apresentam velocidade específica de crescimento microbiano maior do que as IP150 e TF150, respectivamente. Portanto, fermentações conduzidas com

concentração de leveduras de 90 milhões de células/mL apresentam maior conversão de substrato em etanol.

Tabela 1: Parâmetros cinéticos para diferentes concentrações de leveduras inoculadas em um mosto de média densidade (15° Brix).

Amostras	**μ**	**td**	**q_s**	**q_p**	**$Y_{p/s}$**	**$Y_{p/x}$**	**$Y_{x/s}$**	**$Y_{CO2/EtOH}$**	**$Y_{CO2/s}$**	**$Y_{CO2/x}$**
IP 90	0,006	107,3	0,12	0,07	0,57	10,5	0,05	0,97	0,55	10,1
TF 90	0,003	207,8	0,12	0,08	0,68	24,3	0,03	0,76	0,52	18,4
IP 120	0,008	84,5	0,29	0,04	0,37	8,0	0,05	1,65	0,62	13,2
TF 120	0,014	51	0,40	0,05	0,46	8,3	0,06	1,35	0,61	11,1
IP 150	0,003	214,4	0,39	0,05	0,44	13,3	0,03	1,38	0,60	18,4
TF 150	0,011	62,1	0,61	0,04	0,35	7,1	0,05	1,72	0,59	12,1

μ - velocidade especifica de crescimento microbiano (h^{-1}), td - tempo de duplicação celular (h), q_s - velocidade especifica de consumo de substrato (h^{-1}), q_p - velocidade especifica de formação de etanol (h^{-1}), Y - rendimento ($Y_{p/s}$ (g de etanol/g de AT), $Y_{p/x}$ (g de etanol/g de células), Yx/s (g de células/g de AT), $Y_{CO2/EtOH}$ (g de CO_2/g de etanol), $Y_{CO2/s}$ (g de CO_2/g de substrato), $Y_{CO2/x}$ (g de CO_2/g de células)).

Tabela 2: Produtividade para diferentes concentrações de leveduras inoculadas em um mosto de média densidade (15° Brix).

Amostras	P_x	P_p	P_{CO2}
IP 90	0,019	0,20	0,20
TF 90	0,010	0,24	0,18
IP 120	0,041	0,33	0,54
TF 120	0,066	0,54	0,73
IP 150	0,038	0,51	0,70

TF 150	0,090	0,64	1,10

P_x - produtividade celular (g/h), P_p - produtividade de etanol (g/h), P_{CO2} - produtividade de CO_2 (g/h)

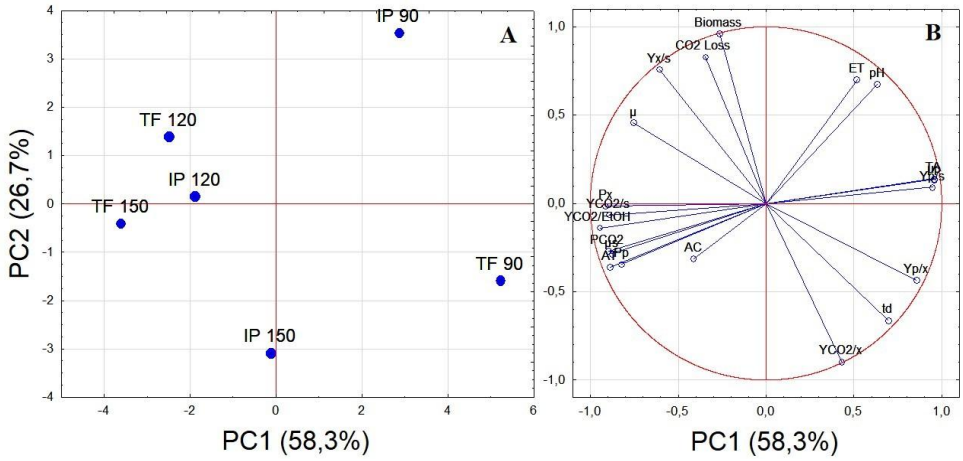
Produtividade é um importante parâmetro cinético para controle de processos fermentativos. O aumento das concentrações de leveduras inoculadas influenciou a produtividade celular (P_x), produtividade de etanol (P_p), e produtividade de CO_2 (P_{CO2})(Tabela 2). TF150 apresentou maior produtividade celular (P_x=0,09 g/h), produtividade de etanol (P_p = 0,64 g/h), e produtividade de CO_2 (P_{CO2}=1,1 g/h). TF90 apresentou menores P_x (0,01 g/h) e P_{CO2} (0,18 g/h). IP90 apresentou menor P_p (0,20 g/h). Todas as amostras avaliadas apresentaram aumento de P_x, P_p e P_{CO2}, pois a produtividade depende do tempo. Portanto, os dados de produtividade confirmam que a velocidade de fermentação aumenta com o aumento da concentração de leveduras inoculadas (Tabela 1/Tabela 2). Porém, gera baixa formação alcoólica, baixa formação de ésteres e com maior acidez (Figura 3/Tabela S1).

3.5 Análise de componente principal para parâmetros físico-químicos e cinéticos

Para a compreensão de toda a correlação linear entre etanol, acidez e ET como marcadores de fermentação e sua correlação com parâmetros físico-químicos e cinéticos, todos os dados foram resumidos usando um PCA (Figura 4). PC1 e PC2 foram responsáveis por 58,3 % e 26,7% da variância, respectivamente, o que totaliza 85% da variabilidade total. PC1 e PC2 representam uma variância cumulativa > 60% e autovalor > 1 (Critérios Kaiser); portanto, foram usados para descrever/selecionar os dados. PC1 separou a amostras TF120, IP120, TF150 E IP150, que contém maiores valores de biomassa de leveduras, CO_2 loss, $Y_{x/s}$, μ, P_x, $Y_{CO2/s}$, $Y_{CO2/EtOH}$, P_{CO2}, AT, P_p e AC das amostras IP90 e TF90, que contém maiores valores de TE, pH, TA, $Y_{p/s}$, $Y_{p/x}$, td e $Y_{CO2/x}$ (Figura 4). PC2 separou TF90, IP150 e TF150, que contém maiores valores de $Y_{CO2/s}$, $Y_{CO2/EtOH}$, P_{CO2}, AT, P_p, AC, $Y_{p/x}$, td e $Y_{CO2/x}$ das amostras IP90, IP120 e TF120, que contém biomassa de leveduras, CO_2 loss, $Y_{x/s}$, μ, P_x, TE, pH, TA, e $Y_{p/s}$ (Figura 4).

Figura 4: (a) PCA score plot demonstrando variação no paramentros fisico-químicos e cinéticos para fermentações conduzidas usando diferentes concentrações de leveduras inoculadas em um mosto de média densidade (15° Brix), e (b) PCA loading plot demonstrando variação no parâmetros físico-químicos e cinéticos para

fermentações conduzidas usando diferentes concentrações de leveduras inoculadas em um mosto de média densidade (15° Brix).



O teor alcoólico (TA) apresenta correlações positivas com pH, taxa de geração de produto (q_p), rendimento de produto por substrato ($Y_{p/s}$) e rendimento de produto por biomassa ($Y_{p/x}$), enquanto possui correlações negativas com acidez total (AT), taxa de consumo de substrato (q_s), rendimentos de CO2 por etanol ($Y_{CO2/EtOH}$) e por substrato ($Y_{CO2/s}$), produção específica de biomassa (P_x), produto (P_p) e CO_2 (P_{CO2}) (Tabela 3). Os ésteres totais (ET) mostram correlação positiva com o pH, mas correlações negativas com acidez e açúcares totais (Tabela 3). A taxa de crescimento (μ) tem correlação negativa com o tempo de duplicação (td) e rendimento de CO_2 por biomassa ($YC_{O2/x}$), mas positiva com o rendimento de biomassa por substrato ($Y_{x/s}$) e produção específica de biomassa (P_x). Por fim, o tempo de duplicação (td) correlaciona-se positivamente com os rendimentos de produto por biomassa ($Y_{p/x}$) e CO_2 por biomassa ($Y_{CO2/x}$), evidenciando interações complexas entre os parâmetros fermentativos (Tabela 3).

Em uma perspectiva industrial, a correlação positiva do TA com pH e rendimentos (Yp/s e Yp/x) sugere que condições mais alcalinas podem favorecer a produção de álcool e melhorar a eficiência do processo. Por outro lado, a correlação negativa com acidez e outros fatores indica que um controle preciso do ambiente fermentativo é crucial para evitar perdas de eficiência e subprodutos indesejados, como geração excessiva de CO_2. A correlação positiva dos ésteres totais com o pH e negativa com a acidez e açúcares totais indica que o controle do pH é fundamental para otimizar o perfil de aroma e sabor do produto. A redução da acidez pode ser gerada pela doação de carbonos do ácido acético para a formação do Acetil-CoA e,

consequentemente, a geração de ésteres (Ribeiro-Filho et al. 2021). O aumento da formação de ésteres e redução da acidez são benéficos para a qualidade sensorial da bebida.

A correlação negativa com o tempo de duplicação e positiva com rendimentos de biomassa sugere que uma taxa de crescimento mais rápida pode melhorar a eficiência geral da fermentação. Isso pode reduzir o tempo de produção e aumentar a produtividade em biomassa. A correlação positiva do td com os rendimentos $Y_{p/x}$ e $Y_{CO2/x}$ indica que tempos de duplicação mais longos podem estar associados a uma produção mais eficiente de biomassa e CO_2. Isso pode ser útil em processos que focam na maximização da biomassa ou onde o controle de subprodutos como CO_2 é importante. No contexto estudado, fermentações mais lentas promovem maior formação alcoólico e maior formação de ésteres; por outro lado, geram produtos com baixa acidez, menor formação de biomassa e CO_2.

Tabela 3: Tabela de person para parâmetros fisico-químicos e cinéticos

	TA	CO2 Loss	ET	pH	AC	AT	Biomassa	μ	td	qs	qp	Yp/s	Yp/x	Yx/s	YCO2/EtOH	YCO2/s	YCO2/x	Px	Pp	PCO2
TA	1,00																			
CO2 Loss	-0,28	1,00																		
ET	0,53	0,44	1,00																	
pH	0,72	0,23	**0,68**	1,00																
AC	-0,35	-0,20	**-0,85**	-0,24	1,00															
AT	**-0,94**	0,13	**-0,73**	**-0,85**	0,50	1,00														
Biomass (g/L)	-0,10	**0,88**	0,52	0,48	-0,18	-0,12	1,00													
μ	-0,54	0,54	-0,22	-0,12	0,41	0,45	**0,67**	1,00												
td	0,53	**-0,69**	0,00	-0,10	-0,26	-0,33	**-0,83**	**-0,92**	1,00											
qs	**-0,83**	-0,04	-0,57	**-0,76**	0,29	**0,79**	-0,03	0,58	-0,44	1,00										
qp	1,00	-0,27	0,57	**0,69**	-0,42	**-0,94**	-0,11	-0,57	0,55	**-0,82**	1,00									
Yp/s	**0,99**	-0,30	0,48	0,66	-0,32	**-0,90**	-0,15	-0,54	0,56	**-0,82**	**0,99**	1,00								
Yp/x	**0,82**	**-0,73**	0,03	0,30	-0,04	-0,64	-0,63	-0,72	**0,81**	-0,60	**0,81**	**0,84**	1,00							
Yx/s	-0,43	**0,81**	0,11	0,16	0,19	0,26	**0,90**	**0,91**	**-0,97**	0,30	-0,45	-0,45	**-0,79**	1,00						
YCO2/EtOH	**-0,99**	0,22	-0,56	**-0,65**	0,41	**0,90**	0,10	0,55	-0,56	**0,83**	**-0,99**	**-0,99**	**-0,80**	0,43	1,00					
YCO2/s	**-0,92**	0,44	-0,53	**-0,67**	0,43	0,94	0,16	0,56	-0,51	0,65	**-0,93**	**-0,90**	**-0,79**	0,49	**0,87**	1,00				
YCO2/x	0,28	**-0,85**	-0,42	-0,34	0,14	-0,03	**-0,98**	**-0,74**	**0,90**	-0,16	0,28	0,32	**0,75**	**-0,93**	-0,29	-0,28	1,00			
Px	**-0,80**	0,16	-0,46	-0,56	0,33	**0,71**	0,25	**0,79**	**-0,68**	**0,95**	**-0,80**	**-0,80**	**-0,71**	0,56	**0,81**	0,64	-0,42	1,00		
Pp	**-0,76**	-0,08	-0,60	**-0,82**	0,29	**0,78**	-0,09	0,57	-0,34	**0,97**	**-0,74**	**-0,72**	-0,51	0,25	**0,73**	0,62	-0,07	**0,91**	1,00	
PCO2	**-0,86**	-0,01	-0,57	**-0,77**	0,30	0,81	-0,01	0,60	-0,46	**1,00**	**-0,84**	**-0,84**	-0,63	0,32	**0,85**	**0,68**	-0,18	**0,95**	**0,97**	1,00

4. Discussão

A influência concentração de leveduras na formação de etanol e ésteres durante fermentação usando mostos de média densidade foi investigada. Nossos resultados revelam que a concentração de leveduras inoculadas utilizando mosto sintético influenciam na performance fermentações incluindo parâmetros de qualidade e parâmetros cinéticos. Embora a concentração de leveduras inoculadas influencie na

performance fermentações, foi observado que a viabilidade celular não foi afetada, eliminando influências negativas da morte celular no processo fermentativo (Da-Silva et al. 2023). As taxas de perda de CO_2 indicaram que o aumento da concentração de leveduras acelerou a velocidade da fermentação, sendo que a cepa TF demonstrou maior eficiência no consumo do substrato comparada à cepa IP (Figura 2). Amostras com menores concentrações de leveduras (90x10^7 células/mL) apresentaram maior produção de etanol e ésteres; e menor acidez (Figura 3/Tabela S1). Por outro lado, concentrações mais altas (120x10^7 e 150x10^7 células/mL) resultaram em menor teor alcoólico e ésteres, mas aumentaram a velocidade fermentativa (Figura 3/Tabela S1).

Os parâmetros cinéticos revelaram que a amostra TF120 apresentou uma rápida adaptação e reprodução das leveduras durante a fermentação, gerando as condições mais eficientes de geração de CO_2 (Tabela 1). Entretanto, as amostras TF90 e IP90 apresentaram menores taxas de crescimento e consumo de substrato, resultado em fermentações mais lenta (Tabela 1). Amostras com taxas de crescimento e consumo de substrato menores, como TF90 e IP90, resultam em fermentações mais lentas. Embora isso possa parecer menos eficiente, há vantagens potenciais, como maior desenvolvimento de compostos responsáveis por aromas e sabores, gerando ebidas alcoólicas com perfis sensoriais mais complexos e diferenciados.

A análise de componentes principais (PCA) demonstrou correlações importantes entre os parâmetros fisico-químicos e cinéticos. O teor alcoólico correlacionou-se positivamente com o pH e rendimentos de produto por substrato ($Y_{p/s}$) e biomassa ($Y_{p/x}$), sugerindo que condições mais alcalinas podem favorecer a produção de álcool e a eficiência do processo. A formação de ésteres totais (ET) também mostrou correlações positivas com o pH e negativas com a acidez e os açúcares totais, destacando a importância do controle do pH na qualidade sensorial do produto. Nas condições estudadas, fermentações inoculadas com 90 milhões de células de leveduras autóctones/mL (selecionadas das unidades produtoras de cachaça) geram fermentações lentas quando comparadas a fermentações inoculadas com 120 ou 150 milhões de celulas/mL; porém, favorecem uma maior produção de etanol e ésteres, enquanto fermentações mais rápidas aumentam a velocidade de produção, mas com redução na qualidade sensorial do produto.

A concentração de levedura e a densidade do mosto desempenham um papel fundamental na formação da produção de etanol, glicerol e compostos de sabor

durante a fermentação com *Saccharomyces cerevisiae* (Nadal e Posas 2022, Johnson et al. 2021). Sob estresse osmótico, leveduras ativam a via do glicerol de alta osmolaridade (HOG), respondem dinamicamente às mudanças nas condições de fermentação (Nadal e Posas 2022). A ativação da via HOG, como mecanismo de sobrevivência, foi observado nos nossos experimentos. À medida que aumentou a concentração de leveduras inoculadas houve o aumento da viscosidade do mosto fermentado. Esta observação foi visual; portanto, necessidade de experimentos futuros que avaliem a formação de glicerol gerado. A concentração de levedura influenciou a taxa de consumo de açúcares, afetando o equilíbrio de produção entre etanol e glicerol (Nadal e Posas 2022, Johnson et al. 2021). Nossos resultados mostram que as amostras que usaram maiores concentrações de leveduras geraram menor formação de etanol, menor formação de ésteres, menor viscosidade e e maior acidez. Portanto, a concentração de levedura, além de afetar formação de etanol, glicerol, e acidez, essa também influencia a formação de formam aroma e sabor, consequentemente, influenciam o perfil sensorial geral do produto fermentado.

O presente trabalho abre caminho para uma melhor compreensão do uso e controle de leveduras autóctones provenientes de cana-de-açúcar usadas nas indústrias de cachaça. Porém, trabalhos futuros são necessários incluindo Estudos similares utilizando outras cepas de leveduras autóctones selecionadas de outras unidades produtoras de cachaça e selecionadas de variedades de cana-de-açúcar; Comparar a performance fermentativa das cepas de leveduras autóctones de cana-de-açúcar com leveduras utilizadas em industriais de porte como vinho, cerveja e whiskey; Avaliar o reuso de leveduras durante ciclos fermentativos considerando a manutenção de performance e formação de aromas; e Avaliar a performance fermentativa das cepas de leveduras autóctones usando mostos de alta densidade. A concentração de leveduras é crucial para otimizar a fermentação, com implicações diretas na qualidade sensorial e eficiência do processo. Nossos resultados podem ser utilizados para tomadas de decisão educadas nas indústrias de cachaça e pode vir a ser útil para outras indústrias de bebidas e produções de etanol.

5. Conclusão

O estudo avaliou o impacto de diferentes concentrações de leveduras na fermentação de mosto sintético, utilizando duas cepas (IP e TF) isoladas de unidades

de produção de cachaça. A viabilidade celular não foi significativamente afetada. O aumento da concentração de leveduras inoculadas acelerou a fermentação, mas reduziu a formação de etanol e ésteres. Fermentações conduzidas com menores concentrações de leveduras ($90x10^7$ células/mL) resultaram em maior teor alcoólico e maior formação de ésteres, associadas a uma menor acidez. A amostra TF120 apresentou a maior velocidade específica de crescimento microbiano e menor tempo de duplicação celular, evidenciando maior eficiência no consumo de substrato e maior rendimento de CO_2. A análise de componentes principais (PCA) revelou correlações significativas entre variáveis físico-químicas e cinéticas, destacando que condições de fermentações mais alcalinas favorecem a produção de álcool e ésteres. Por outro lado, altas concentrações de leveduras resultaram em maior acidez e menor rendimento alcoólico. Dessa forma, fermentações mais lentas, com menores concentrações de leveduras, são recomendadas para otimizar a produção de álcool e ésteres.

Agradecimentos

Agradecemos à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba (FAPESQ-PB) pela bolsa de iniciação científica e a Universidade Federal da Paraíba pela infraestrutura dos laboratórios disponibilizada.

Referencias

Da-Silva, J.R., Correia-Lima, L., Fernandes, G., Ribeiro-Filho, N., Madruga, M.S., Lima, M., Santos Muniz, M.B. (2023). Mandacaru fruit pulp (Cereus Jamacaru D.C.) as an adjunct and its influence in the beer properties. Food Chem. xxx, 135066–135075. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135066.

Felizardo, L., Bizerra-Santos, J., Santos-Júnior, W., De-Barros, M.C., Maia, L., Ribeiro-Filho, N. (2023). The influence of sugarcane cultivars on Sugarcane spirit (Cachaça) production. 8th Worldwide Distilled Spirits Conference: Edinburgh

Johnson, A. N., Li, G., Jashnsaz, H., Thiemicke, A., Kesler, B. K., Rogers, D. C., Neuert, G. (2021). A rate threshold mechanism regulates MAPK stress signaling and survival. *Proc Natl Acad Sci*;118(2):e2004998118. doi: 10.1073/pnas.2004998118. PMID: 33443180; PMCID: PMC7812835.

Pierce, J. S. (1970). Institute of Brewing Analysis Committee: Measurement of Yeast Viability. Journal of The Institute of Brewing, 76, 442–443. https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1970.tb03325.x.

Ribeiro-Filho, M. N. 2020. Capítulo 13: Processamento De Cana-De-Açúcar Para Produção de Cachaça e de Etanol. In: Mielezrski, F. & Lopes, G. N. Cultivo de Cana-de-açúcar na Paraíba. João Pessoa, PB; Editora UFPB. Cap. 13, p. 168-180.

Ribeiro-Filho, N., Linforth, R., Powell, C.D., Fisk, I.D., 2021a. Influence of essential inorganic elements on flavour formation during yeast fermentation. Food Chem. 361, 130025 https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130025.

Rosa, C.A., A.M. Soares, and J.B. Faria. 2009. Chapter 34: Cachaça production. In: Ingledew, W.M., Kelsall, D.R., Austin, G.D., Kluhspies, C. The alcohol Textbook. Fifth edition. Nottingham University press. Chapter 34, 481-490.

Vianna CR, Silva CLC, NevesMJ, Rosa CA. (2008). Saccharomyces cerevisiae strains from traditional fermentations of Brazilian cachac¸a: trehalose metabolism, heat and ethanol resistance. Antonie Van Leeuwenhoek. 93(1–2):205–217.

Anexos

Tabela S1: Dados fisico-químicos das fermentações

Parâmetros	IP 90	TF 90	IP 120	TF 120	IP 150	TF 150
TA	$7,0\pm0,4^{a}$ A	$8,2\pm0,8^{a}$ A	$3,9\pm0,8^{bcdB}$	$4,9\pm0,3^{bB}$	$4,6\pm0,0^{bcB}$	$3,7\pm0,3^{dC}$
CO_2 Loss (g)	$6,6\pm0,1^{a}$ A	$6,2\pm2,1^{a}$ A	$6,5\pm0,4^{aA}$	$6,6\pm0,5^{aA}$	$6,3\pm0,3^{aA}$	$6,4\pm0,8^{aA}$
ET	166 ± 45^{a} A	88 ± 0^{bA}	68 ± 17^{cA}	78 ± 17^{bcA}	78 ± 17^{bcB}	78 ± 17^{bcA}
pH	$4,3\pm0,1^{b}$ A	$4,3\pm0,1^{b}$ B	$4,21\pm0,03^{c}$ B	$4,19\pm0,01^{cC}$	$4,11\pm0,02^{d}$ C	$4,8\pm0,1^{aA}$
AC	$8,6\pm0,0^{d}$ C	11 ± 0^{bA}	12 ± 0^{aA}	11 ± 0^{bA}	10 ± 0^{cB}	11 ± 0^{bA}
SST	$9,0\pm0,0^{a}$	$6,8\pm0,4^{b}$	$6,0\pm0,0^{c}$	$6,0\pm0,0^{c}$	$6,1\pm0,3^{bc}$	$6,0\pm0,0^{c}$
AT	n.d	n.d	2±0	2±0	2±0	2±0
AR	n.d	n.d	0,03±0,00	0,03±0,00	0,03±0,00	0,03±0,00
ANR	n.d	n.d	1,97±0,00	1,97±0,00	1,97±0,00	0,97±0,00

Capítulo 07

DOI: 10.53934/agronfy-2025-04-07

ESTABILIDADE DE *Lacticaseibacillus casei* CSL3 DURANTE O ARMAZENAMENTO REFRIGERADO DA BEBIDA FERMENTADA PROBIÓTICA À BASE DE EXTRATO DE AVEIA COM CACAU

Vitória Lopes Rocha[1];

Pedro Fernandes Viana*[1];

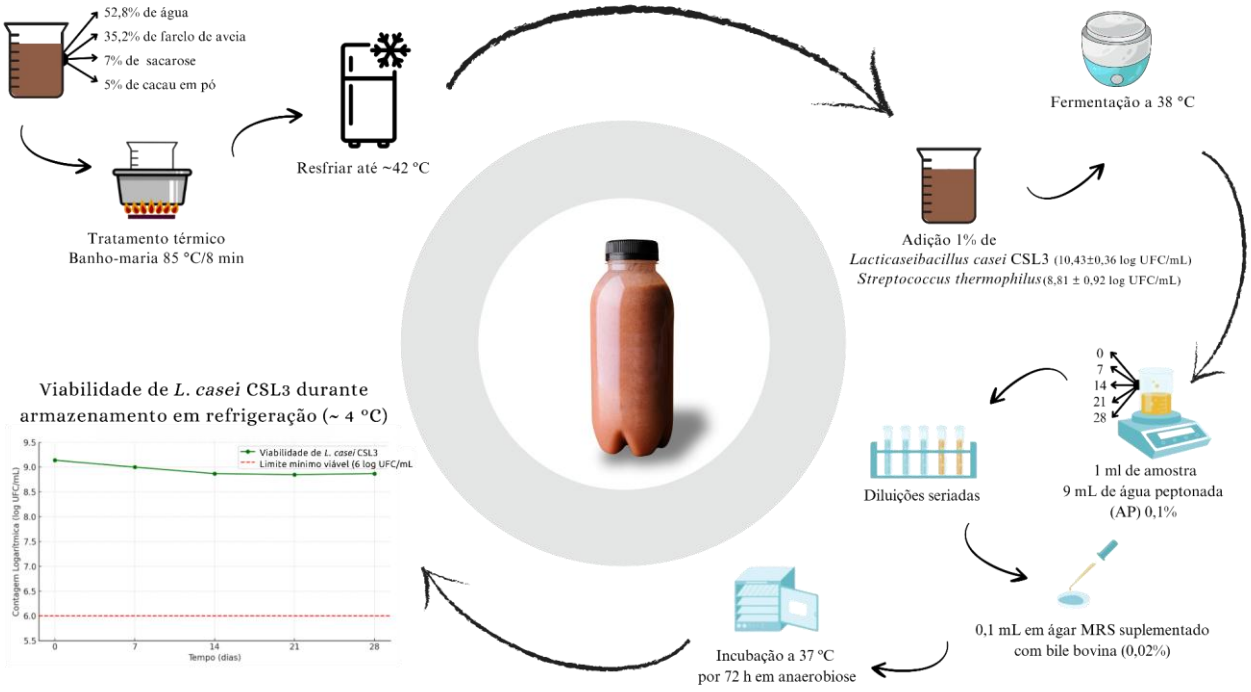
Mírian Ribeiro Galvão Machado[1];

Ângela Maria Fiorentini[1]

[1]Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas

*E-mail para correspondência: fernandes199921@gmail.com

Resumo gráfico



1 Introdução

Nos últimos anos, a busca por alimentos mais saudáveis tem se intensificado, refletindo uma crescente preocupação com a saúde pública global e o bem-estar

individual. Desta forma, a mudança de hábitos alimentares da população tem priorizado alimentos mais naturais e com propriedades funcionais capazes de fornecer benefícios adicionais à saúde. Entre esses alimentos, os probióticos se destacam, devido à sua capacidade de promover equilíbrio da microbiota intestinal, entre outros benefícios (Marino et al., 2017).

Os probióticos são microrganismos vivos que, quando administrados em quantidades adequadas conferem benefícios à saúde do hospedeiro (FAO/WHO, 2001). As bactérias ácido láticas (BAL) são amplamente utilizadas como probióticas, possuem a capacidade de adesão às células epiteliais intestinais, facilitando a interação com o hospedeiro e a modulação da resposta imunológica (Tirloni et al., 2023), bem como promovem aumento da motilidade intestinal e competem por sítios de adesão com as bactérias patogênicas (Jeong et al., 2022). Com isso, o crescente interesse pelo consumo de probióticos impulsionou as pesquisas e o desenvolvimento de novos produtos alimentícios, com foco na incorporação desses microrganismos benéficos em diversos tipos de alimentos.

Os alimentos probióticos têm se consolidado como uma das principais inovações no mercado de alimentos funcionais, devido aos seus comprovados benefícios à saúde e à crescente demanda por opções mais saudáveis. Embora tradicionalmente associados a produtos lácteos, como iogurtes e queijos, a diversificação para alternativas não lácteas tem permitido atender a consumidores com restrições alimentares, incluindo indivíduos com intolerância à lactose (Rice et al., 2020). Atualmente, esses alimentos representam entre 60% e 70% do mercado global de alimentos funcionais, reforçando sua relevância e potencial na indústria alimentícia (Naseem et al., 2023).

A intolerância à lactose é caracterizada pela incapacidade de digerir a lactose, o principal carboidrato presente no leite e seus derivados, devido à deficiência ou ausência da enzima lactase. Essa condição pode desencadear sintomas como inchaço, diarreia e desconforto gastrointestinal após o consumo de alimentos que contenham lactose. Quimicamente, a lactose é um dissacarídeo composto por dois monossacarídeos, glicose e galactose, unidos por ligações β-1,4 (galactose β-1,4 glicose) (Romero-Velarde et al., 2019).

Estudos apontam que a intolerância à lactose é uma condição amplamente prevalente, afetando aproximadamente 70% da população global. Esse dado reforça

a importância de desenvolver alternativas não lácteas para o consumo de probióticos, conforme destacado por Zychar e Oliveira (2017). A busca por opções que atendam às necessidades de indivíduos com essa condição tem se tornado cada vez mais relevante, visando garantir uma alimentação equilibrada e a manutenção da saúde intestinal.

Diante do aumento da demanda por produtos sem ingredientes lácteos, a indústria alimentícia tem investido no desenvolvimento de alternativas que atendam às necessidades de pessoas com restrições alimentares, bem como vegetarianos e veganos. As bebidas fermentadas, consumidas mundialmente, representam uma parcela significativa dos produtos alimentícios (Ramírez-Guzmán et al., 2019).

Entre essas alternativas, destacam-se as bebidas vegetais, que funcionam como substitutos dos produtos lácteos (Cordova, 2019), as quais podem ser produzidas a partir de uma ampla gama de substratos alimentares, como grãos, leguminosas e frutas, que são alimentos amplamente disponíveis em várias partes do mundo (Tamang, Watanabe e Holzapfel, 2016). O consumo dessas bebidas está relacionado às suas características sensoriais, especialmente os sabores resultantes dos compostos voláteis gerados durante a fermentação, os quais podem variar dependendo da matéria-prima e dos microrganismos utilizados (Hugenholtz, 2013; Ramírez-Guzmán *et al*., 2019). Contudo, a seleção criteriosa desses microrganismos é essencial devido aos desafios em manter sua viabilidade em matrizes não lácteas (Ranadheera et al., 2019; Valero-Cases et al., 2020).

Portanto, a aveia (*Avena sativa* L.) surge como uma matriz promissora, devido às suas propriedades nutricionais, como um perfil equilibrado de aminoácidos e uma rica concentração de fibras alimentares, como as β-glucanas, que oferecem benefícios ao sistema cardiovascular (Kumar et al., 2021; Zheng et al., 2021). Além disso, a aveia por possuir prebióticos pode melhorar a estabilidade e a sobrevivência dos probióticos durante o processamento e armazenamento, tanto na forma livre como imobilizadas, o que pode tornar seu uso ainda mais relevante para a indústria de alimentos (Charalampopoulos et al., 2002).

Considerando esses fatores, a utilização do extrato de aveia como meio de crescimento para microrganismos probióticos se apresenta como uma estratégia viável e promissora para o desenvolvimento de bebidas fermentadas funcionais. A manutenção de uma concentração mínima de 6 log UFC/mL no momento do consumo

proporciona uma vantagem competitiva no ecossistema e essencial para garantir os benefícios probióticos esperados (Papadopoulou et al, 2018).

Neste estudo, foram utilizadas as culturas *Lacticaseibacillus casei* CSL3, isolada de silagem de colostro bovino e reconhecida por seu potencial probiótico seguro (Vitola et al., 2018), e *Streptococcus thermophilus*, amplamente empregado na indústria alimentícia devido à sua eficiência na acidificação do meio (Marino et al., 2017). A combinação dessas cepas visa otimizar a fermentação e garantir a viabilidade dos microrganismos probióticos no produto.

Dessa forma, este trabalho teve como objetivo avaliar a estabilidade da cepa *Lacticaseibacillus casei* CSL3 durante o armazenamento refrigerado de uma bebida fermentada probiótica à base de extrato de aveia com cacau, investigando sua viabilidade ao longo do tempo e sua adequação como alternativa não láctea para formulações probióticas. A escolha do extrato de aveia como base para a bebida reforça o compromisso com a criação de opções acessíveis e funcionais para indivíduos com intolerância à lactose, alinhando-se às demandas atuais por alimentos saudáveis e inclusivos.

2 Metodologia

2.1 Elaboração da bebida fermentada probiótica de aveia (BFPA)

A formulação da bebida foi baseada na metodologia descrita por Klajn et al. (2021), com adaptações. Foram utilizados os seguintes ingredientes com respectivas proporções: 52,8% de água (Crystal ®), 35,2% de farelo de aveia (Mundo integral Alimentos ®), 7% de açúcar refinado (Caravelas ®) e 5% de cacau em pó sem adição de açúcar (Mundo integral Alimentos ®), todos adquiridos no comércio da cidade de Pelotas, RS.

O farelo de aveia foi macerado em água à temperatura ambiente (~ 25 °C), por 30 minutos em um becker de 3L. Após a maceração, o farelo foi lavado com água em peneira fina (30mesh), até que o líquido resultante se apresentasse translúcido. Em seguida, o farelo foi transferido para um recipiente, onde foi adicionada a água mineral sem gás e resfriada. Na sequência, o cacau em pó foi incorporado à mistura e triturada em liquidificador de alta potência (Cui-3180, Cuori®, Itália) (1300 W) por 2 minutos na velocidade máxima. A bebida foi obtida utilizando uma malha extrafina de *voil* (400 mesh) apoiada sobre uma peneira fina (30 mesh) em um becker de 3L. O *voil* foi

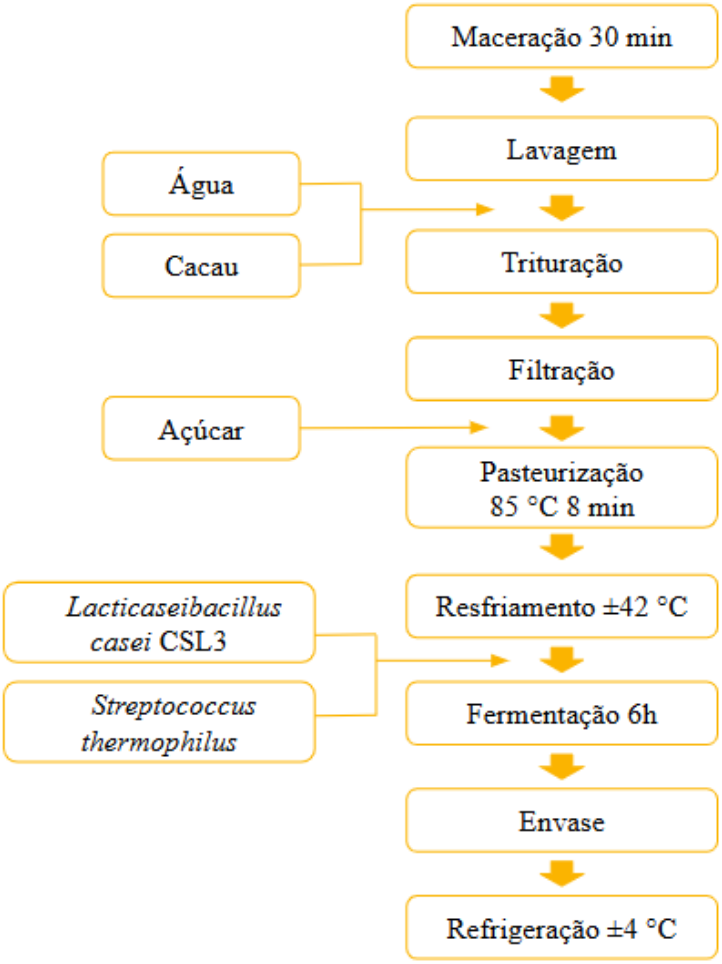
pressionado manualmente para otimizar a extração do líquido. Após a extração, o açúcar refinado foi adicionado à bebida, e a mistura foi homogeneizada.

O processo de tratamento térmico foi realizado em banho-maria a 85 °C por 8 minutos, seguido de resfriamento em banho de gelo até aproximadamente ~ 45 °C. A bebida foi então inoculada com 1% da cultura com potencial probiótico *L. casei* CSL3 (~ 10 log UFC/mL) e da cultura iniciadora *Streptococcus thermophilus* (~ 8,81 log UFC/mL). A fermentação ocorreu em iogurteira doméstica por 6 horas a 38 ºC (até atingir pH 4,6), após o produto foi envasado em garrafas de polietileno tereftalato (PET), com capacidade 500 mL previamente higienizadas em solução clorada e armazenado sob refrigeração a ~ 4 °C (Figura 1).

Todos os materiais e equipamentos utilizados no preparo da bebida passaram por um processo de higienização, garantindo a segurança microbiológica e a qualidade do produto. A limpeza foi essencial para evitar contaminações indesejadas e garantir que o ambiente de produção fosse adequado às boas práticas de fabricação. Desde os recipientes utilizados na pesagem dos ingredientes até as mesas usadas na mistura e fermentação, cada item foi devidamente tratado antes do uso.

A higienização foi realizada utilizando uma solução clorada, um método amplamente reconhecido por sua eficácia na eliminação de microrganismos patogênicos. A solução de água clorada foi preparada com uma concentração de 200 ppm, o que equivale à adição de 10 mL de hipoclorito de sódio a 2% (contendo 2% de cloro ativo) por litro de água. Esse procedimento seguiu as recomendações de Bezerra (2007), garantindo que o nível de umidade fosse adequado para a manipulação segura dos ingredientes e equipamentos.

Figura 1 - Fluxograma da elaboração da bebida fermentada probiótica de aveia



Fonte: Adaptado de Klajn et al. (2021).

2.2 Viabilidade da bactéria potencialmente probiótica

Para determinar a contagem de células viáveis de *L. casei* CSL3, inicialmente, 1 mL da amostra da bebida probiótica BFPA foi homogeneizado em 9 mL de água peptonada (Himedia®) (AP) a 0,1%. Em seguida, foram realizadas diluições decimais seriadas. A partir dessas diluições, alíquotas de 0,1 mL foram inoculadas em placas de Petri contendo meio de cultura ágar MRS (De Man, Rogosa e Sharpe) (Kasvi®) suplementado com 0,02% de bile bovina (Sigma-Aldrich®). As placas foram incubadas em jarras de anaerobiose (Permution®) a 37 °C por um período de 72 horas, conforme metodologia descrita por APHA (2002). O teste de viabilidade foi realizado nos tempos 0, 7, 14, 21 e 28 dias de armazenamento sob refrigeração. Os resultados foram expressos em log UFC/mL (logaritmo de unidades formadoras de colônia por mililitro).

3 Resultados e Discussão

A viabilidade de *Lacticaseibacillus casei* CSL3 foi monitorada de forma contínua ao longo do armazenamento refrigerado da bebida fermentada à base de extrato de aveia, permitindo uma avaliação detalhada do comportamento da cepa probiótica sob essas condições. Durante esse período, observamos que a contagem de células viáveis sofreu variações ao longo do tempo, conforme indicado pelo teste de Bonferroni ($p < 0,05$). Diferenças significativas foram constatadas entre os tempos iniciais (T0) e finais (T14 e T28) (Tabela 1).

A análise desses dados foi fundamental para compreender a estabilidade da cepa probiótica na formulação desenvolvida e sua capacidade de manutenção dentro dos níveis recomendados para probióticos ao longo do tempo. Dessa forma, os resultados obtidos podem contribuir para ajustes na formulação e no processo produtivo e garantir os benefícios funcionais da bebida até o final da vida útil do produto.

Tabela 1 - Viabilidade de *Lacticaseibacillus casei* CSL3 em bebida fermentada probiótica de aveia, durante armazenamento em refrigeração

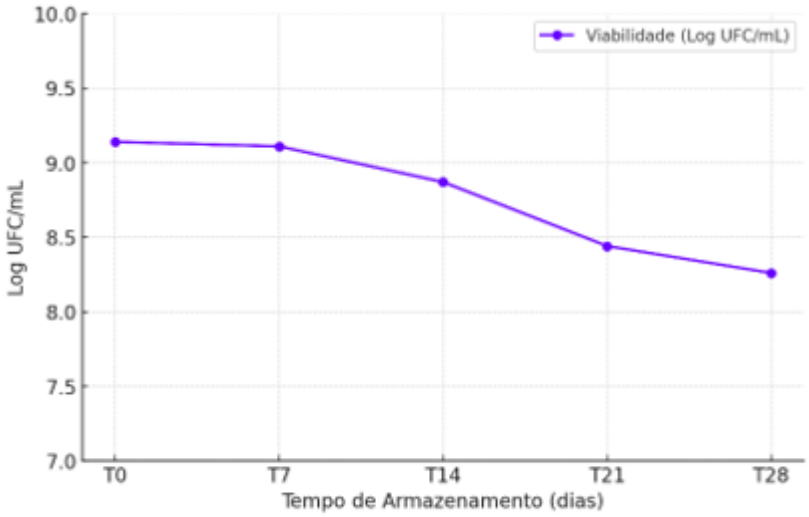
Tempos	Log UFC/mL
T0	9,14 ± 1,11a
T7	9,11 ± 1,04a
T14	8,87 ± 1,07b
T21	8,44 ± 0,94b
T28	8,26 ± 0,98b

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística entre os resultados
Fonte: Autores, 2024.

A figura 2 apresenta a variação da viabilidade de *L. casei* CSL3 durante o armazenamento refrigerado da bebida fermentada à base de extrato de aveia. Observa-se que a contagem inicial (T0) foi de 9,14 log UFC/mL, indicando uma alta concentração de células viáveis no momento da produção. Com o passar do tempo, houve uma redução gradual na viabilidade da bactéria, sendo mais evidente após 14 dias (T14), quando a contagem caiu para 8,87 log UFC/mL. Essa tendência de declínio continuou até os 28 dias (T28), atingindo 8,26 logs UFC/mL. Apesar da redução observada, a concentração de células viáveis permaneceu acima do limite mínimo de

6 log UFC/mL, considerado necessário para garantir os benefícios probióticos ao consumidor.

Figura 2 - Sobrevivência de *Lacticaseibacillus casei* CSL3 em bebida fermentada probiótica de aveia ao longo do tempo de armazenamento em refrigeração



Fonte: Autores, 2024.

Comparando com os resultados de Ames et al. (2021), que avaliaram iogurtes contendo *L. casei* CSL3 imobilizado em aveia, observa-se uma viabilidade média semelhante, em torno de 8 log UFC/mL, ao longo do mesmo período de armazenamento. Por sua vez, Guergoletto et al. (2010), ao investigar a sobrevivência de *L. casei* aderido a fibras vegetais, relataram que a bactéria associada ao farelo de aveia com 9% de β-glucanas apresentou uma viabilidade de 7,1 log UFC/g, demonstrando a eficiência da aveia como substrato para manter a viabilidade de probióticos.

No estudo de Nascimento (2024), foi avaliada a viabilidade da cepa *Lactobacillus casei* NRRL B-442 em uma bebida fermentada desenvolvida a partir de xerém de castanha de caju (*Anacardium occidentale L.*), armazenada sob refrigeração a 4 °C por 42 dias. Os resultados demonstraram que a cepa apresentou excelente estabilidade durante todo o período de armazenamento, com contagens variando de 10,46 ± 0,43 a 12,23 ± 0,03 log UFC/mL, evidenciando a adequação do xerém de castanha de caju como matriz para manter a viabilidade probiótica e a eficácia do produto mesmo após períodos prolongados de estocagem.

Esse resultado reforça a estabilidade da cepa *L*. *casei* CSL3 na matriz de aveia, sugerindo que a bebida fermentada pode ser uma alternativa viável aos produtos não lácteos probióticos. A diminuição progressiva pode ser atribuída a fatores como acúmulo de metabólitos, variação do pH e disponibilidade de nutrientes ao longo do armazenamento. Essas variações são esperadas em sistemas probióticos não lácteos, especialmente quando associados a matrizes vegetais. Apesar da redução observada entre os tempos iniciais e finais, a bebida fermentada apresentou uma boa estabilidade, mantendo concentrações viáveis de *L. casei* CSL3 ao longo de 28 dias.

A aveia, um cereal altamente nutritivos, tem sido amplamente utilizada como matéria-prima para a produção de bebidas fermentadas à base de cereais. Deziderio (2019) desenvolveu bebidas fermentadas funcionais contendo aveia, amêndoas, soja, castanha-do-brasil e arroz, utilizando culturas probióticas como *Bifidobacterium* BB-12, *Lactobacillus acidophilus* LA-5 e *Streptococcus thermophilus*. Por outro lado, Asadzadeh et al. (2021) formularam uma bebida probiótica não láctea a partir de extrato de farelo de aveia fermentado com a cepa *Bifidobacterium lactis*. Ambos os estudos demonstraram que as bebidas fermentadas à base de aveia possuem potencial para novos produtos probióticos, além de serem bem aceitas sensorialmente.

O desenvolvimento de produtos alimentícios fermentados, especialmente à base de cereais, apresenta-se como uma estratégia eficiente e sustentável para atender à crescente demanda por alimentos com elevada qualidade nutricional (Moreira, Nascimento e Queiroz, 2024).

Em comparação com outras matrizes vegetais, os valores mantidos acima de 8 log UFC/mL indicam que a aveia pode ser uma base eficiente para a manutenção da viabilidade probiótica, possivelmente devido à presença de compostos prebióticos que favorecem a sobrevivência dos microrganismos. Esses compostos, como β-glucanas, podem atuar como substratos energéticos para os probióticos, contribuindo para sua estabilidade e funcionalidade durante o armazenamento. Com isso, os resultados reforçam o potencial do extrato de aveia como uma matriz promissora para o desenvolvimento de produtos probióticos alternativos, atendendo à crescente demanda por alimentos funcionais não lácteos. Além disso, a estabilidade da cepa em condições de refrigeração sugere que a bebida pode oferecer benefícios probióticos.

A capacidade de sobrevivência e crescimento das células probióticas em diferentes matrizes alimentares é influenciada por diversos fatores, incluindo a composição nutricional do meio e as condições de armazenamento. Essa variação em relação ao crescimento celular nas diferentes bebidas está associada à habilidade das células de se regenerarem em um ambiente nutritivo e à indução de estados fisiológicos latentes em resposta ao estresse ambiental (Silva, Campelo & Rodrigues, 2022).

Portanto, os resultados obtidos destacam a capacidade de *L. casei* em manter sua estabilidade em diferentes matrizes alimentares, com ênfase em opções não lácteas, como a bebida à base de extrato de aveia. Esse desempenho reforça o potencial dessa cepa para aplicação em produtos funcionais, promovendo propriedades probióticas que atendem às demandas de um mercado cada vez mais orientado para alimentos saudáveis, inclusivos e com ampla aceitação por consumidores com diferentes restrições alimentares.

4 Conclusão

Conclui-se que os compostos prebióticos presentes na aveia desempenharam um papel fundamental na manutenção da viabilidade de *Lacticaseibacillus casei* CSL3, com contagens acima do limite mínimo de 6 log UFC/mL por 28 dias de armazenamento refrigerado. Esses resultados confirmam o potencial da bebida fermentada probiótica à base de aveia (BFPA) como um veículo não lácteo eficaz para a entrega de benefícios probióticos ao consumidor.

O estudo também destaca a relevância das matrizes vegetais enriquecidas com prebióticos, como a aveia, para o desenvolvimento de produtos funcionais inovadores. Esses produtos não apenas atendem às demandas por alimentos mais saudáveis, mas também promovem a inclusão alimentar, ampliando as opções para consumidores com restrições alimentares, como intolerância à lactose ou adesão a dietas veganas.

Por fim, os achados reforçam a importância de continuar explorando combinações entre prebióticos e probióticos em matrizes vegetais, oferecendo soluções promissoras que aliam sustentabilidade, funcionalidade e benefícios à saúde, alinhadas às crescentes exigências do mercado por alimentos funcionais e inclusivos.

5 Referências Bibliográficas

Ames, W. C., Cunha, K. F. da, Vitola, H. R. S., Hackbart, H. C. dos S., Filho, P. J. S., Cruxen, C. E. dos S., Silva, W. P. da, & Fiorentini, Â. M. (2021). Evaluation of potentially probiotic *Lactobacillus casei* CSL3 immobilized on oats and applied to yogurt production. *Journal of Food Processing and Preservation,* 45(10). https://doi.org/10.1111/jfpp.15803

American Public Health Association. (2002). *Compendium of methods for the microbiological examination of foods* (4th ed.). Washington, DC: APHA.

Asadzadeh, A., Jalali, H., Azizi, M. H., & Nafchi, A. B. (2021). Produção de bebida probiótica funcional de farelo de aveia utilizando *Bifidobacterium lactis*. *Medida Alimentar,* 15, 1301–1309. https://doi.org/10.1007/s11694-020-00726-4

Bezerra, V. S. (2007). *Açaí congelado.* Embrapa Informação Tecnológica. https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca

Charalampopoulos, D., Wang, R., Pandiella, S., & Webb, C. (2002). Application of cereals and cereal components in functional foods: A review. *International Journal of Food Microbiology,* 79, 131–141. https://doi.org/10.1016/S0168-1605(02)00187-3

Deziderio, M. A. (2019). *Desenvolvimento de bebida fermentada funcional de origem vegetal* (Dissertação de Mestrado). Universidade de São Paulo, Pirassununga. Recuperado de http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/74/74132/tde-28112019-162051/

Food and Agriculture Organization & World Health Organization. (2001). *Evaluation of health and nutritional properties of probiotics in food including powder milk with live lactic acid bacteria.*

Cordova, A. G. de. (2019). Consumo de bebidas vegetais no Brasil: Análise da percepção do consumidor pelo uso de word association. *Universidade Federal de Santa Catarina.* https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/203194

Guergoletto, K. B., Magnani, M., San Martin, J., Andrade, C. G. T. de J., & Garcia, S. (2010). Survival of *Lactobacillus casei* (LC-1) adhered to prebiotic vegetal fibers. *Innovative Food Science & Emerging Technologies,* 11, 415–421. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.11.003

Hugenholtz, J. (2013). Traditional biotechnology for new foods and beverages. *Current Opinion in Biotechnology,* 24(2), 155-159. https://doi.org/10.1016/j.copbio.2013.01.001

Jeong, J.-J., Park, H. J., Cha, M. G., Park, E., Won, S.-M., Ganesan, R., Gupta, H., Gebru, Y. A., Sharma, S. P., Lee, S. B., Kwon, G. H., Jeong, M. K., Min, B. H., Hyun, J. Y., Eom, J. A., Yoon, S. J., Choi, M. R., Kim, D. J., & Suk, K. T. (2022). *Lactobacillus* as a probiotic: Focusing on liver diseases. *Microorganisms,* 10(2), 288. https://doi.org/10.3390/microorganisms10020288

Klajn, V. M., Ames, C. W., Cunha, K. F. da, Lorini, A., Hackbart, H. C. dos S., Sanches Filho, P. J., Cruxen, C. E. dos S., & Fiorentini, Â. M. (2021). Probiotic fermented oat dairy beverage: Viability of *Lactobacillus casei*, fatty acid profile, phenolic compound content, and acceptability. *Journal of Food Science and Technology,* 58(9), 3444–3452. https://doi.org/10.1007/s13197-021-04973-1

Kumar, L., Sehrawat, R., & Kong, Y. (2021). Oat proteins: A perspective on functional properties. *LWT,* 152, 112307. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112307

Marino, M., Innocente, N., Calligaris, S., Maifreni, M., Marangone, A., & Nicole, M. C. (2017). Viability of probiotic *Lactobacillus rhamnosus* in structured emulsions containing saturated monoglycerides. *Journal of Functional Foods,* 35, 51–59. https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.05.012

Moreira, J. V. S., Nascimento, M. E. E. do, & Queiroz, I. C. do. (2024). Fermentação de bebidas à base de cereais: estratégia de melhoria nutricional. *Revista Técnica da Agroindústria,* 1(2), 1-4. https://revistadaagroindustria.com.br/Pdf/Artigo

Nascimento, R. S. B. do. (2024). *Desenvolvimento de uma bebida fermentada à base de xerém de castanha de caju (Anacardium occidentale L.)* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/76812

Naseem, Z., Mir, S. A., Wani, S. M., Rouf, M. A., Bashir, I., & Zehra, A. (2023). Sucos de frutas fortificados com probiótico: Benefícios para a saúde, desafios e perspectiva futura. *Nutrição,* 115. https://doi.org/10.1016/j.nut.2023.112154

Papadopoulou, O. S., Argyri, A. A., Varzakis, E. E., Tassou, C. C., & Chorianopoulos, N. G. (2018). Greek functional Feta cheese: Enhancing quality and safety using a *Lactobacillus plantarum* strain with probiotic potential. *Food Microbiology,* 74, 21-33.

Rice, T., Sahin, A., Lynch, K., Arendt, E., & Coffey, A. (2020). Isolation, characterisation and exploitation of lactic acid bacteria capable of efficient conversion of sugars to mannitol. *International Journal of Food Microbiology,* **321**, 108546. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108546

Capítulo 08

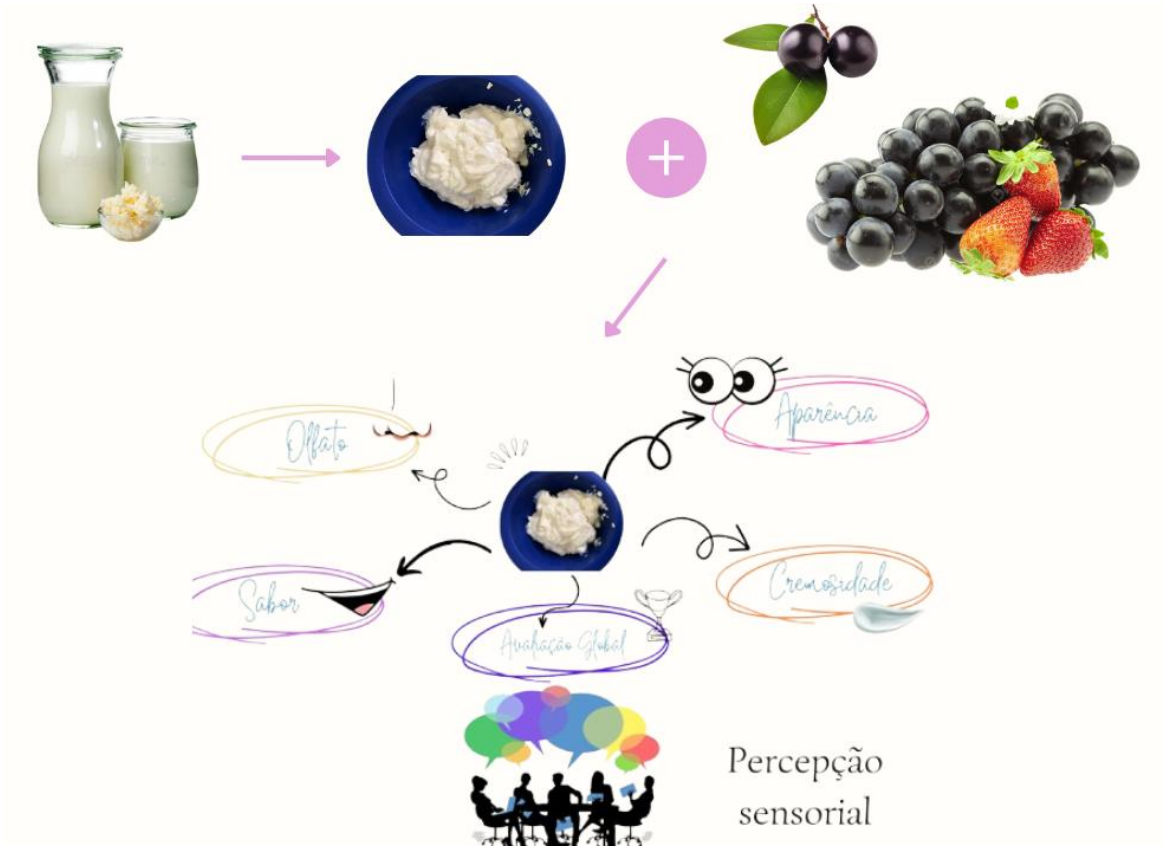
DOI: 10.53934/agronfy-2025-04-08

AVALIAÇÃO SENSORIAL DE KEFIR CREMOSO ADICIONADO DE FRUTAS VERMELHAS APLICANDO O MÉTODO *FOCUS GROUP*

Emily Bezerra Coutinho Cruz[1];
Taliana Kênia Alencar Bezerra[2];
Juliana Tatiaia de Morais Dias[3].

[1]Estudante, Pós-Graduação de Engenharia Agrícola/Universidade Federal de Campina Grande.
[2]Professora, Departamento de Engenharia de Alimentos/Universidade Federal da Paraíba.
[3]Estudante, Pós-Graduação de Engenharia Agrícola/Universidade Federal de Campina Grande.
*E-mail para correspondência: coutinhoemily@gmail.com

Resumo Gráfico



1. Introdução

O interesse dos consumidores por alimentos nutricionalmente reformulados e com valores agregados, como compostos bioativos, tem crescido significativamente

nos últimos anos. Entre os alimentos funcionais, os produtos lácteos se destacam, representando mais de 40% desse mercado devido à sua ampla aceitação e versatilidade (Turkmen, Akal e Özer, 2019; Bimbo et al., 2017). São frequentemente percebidos como alimentos naturais, saudáveis e ricos em nutrientes essenciais. Nesse contexto, o kefir cremoso surge como uma matriz promissora para a incorporação de frutas vermelhas, com o objetivo de potencializar suas propriedades funcionais e aumentar seu valor comercial (Kandylis et al., 2021).

As percepções sensoriais de alimentos desempenham um papel crucial na aceitação do consumidor e podem ser influenciadas por diversos fatores, como expectativas, interações pessoais com o produto, memórias afetivas e até o preço de mercado. Para compreender essas percepções de forma mais profunda, a aplicação de metodologias qualitativas se torna indispensável (Lazar et al., 2017; Batista et al., 2023). Essas abordagens complementam a análise estatística ao oferecer uma perspectiva mais detalhada sobre as preferências dos consumidores. Métodos como perfil de sabor, análise descritiva qualitativa e perfil de textura têm sido amplamente utilizados. Além disso, ferramentas como entrevistas e grupos focais permitem uma interação direta com os consumidores, explorando suas impressões e comportamentos em relação aos produtos avaliados.

O método *focus group* é uma técnica de pesquisa qualitativa amplamente utilizada para reunir indivíduos e promover discussões sobre percepções, crenças e atitudes em relação a um determinado tema, produto ou serviço. Sob a mediação de um moderador, os participantes interagem entre si, permitindo a coleta de dados ricos e detalhados. Essa abordagem é especialmente relevante em estudos sensoriais, pois possibilita a identificação de preferências, sugestões de melhoria e tendências de consumo, auxiliando no desenvolvimento de produtos alinhados às demandas do mercado.

Nos últimos anos, o *focus group* tem ganhado popularidade devido à sua capacidade de gerar informações qualitativas profundas e contextualizadas (Sachdeva; Kumar Amit; Eram, 2024). Sua estrutura metodológica é fundamentada na atuação do moderador, que conduz a discussão, e na análise dos dados coletados, extraindo padrões e insights relevantes (Sachdeva et al., 2024; Dil et al., 2024). Estudos anteriores demonstram sua eficácia na compreensão do comportamento do

consumidor e na formulação de estratégias voltadas para a inovação e aprimoramento de produtos.

Berrondo e Gámbaro (2023) destacam o *focus group* como uma ferramenta essencial para captar insights sobre inovação no setor alimentício, permitindo que consumidores expressem suas opiniões de forma interativa e auxiliando na identificação de atributos valorizados. Moreira et al. (2020) aplicaram essa metodologia na caracterização sensorial da carne de sol, analisando sabor, textura e aceitação do produto. Os resultados evidenciam a importância do *focus group* na avaliação de alimentos tradicionais, contribuindo para melhorias e adaptações alinhadas às preferências do consumidor, reforçando seu valor na análise sensorial e no desenvolvimento de produtos para o mercado.

Neste estudo, o método qualitativo de Focus Group foi aplicado para investigar as percepções sensoriais e o comportamento de consumidores em relação ao kefir cremoso formulado com frutas vermelhas. A abordagem buscou identificar as preferências e insights dos participantes, contribuindo para o desenvolvimento de um produto que atenda às expectativas do mercado e potencialize seus atributos funcionais e sensoriais.

2. Metodologia

Este estudo utilizou a metodologia de grupos focais descrita por Casey e Krueger (1994) para avaliar as percepções sensoriais dos participantes em relação aos atributos de aparência, odor, sabor, cremosidade e avaliação global do produto.

2.1. Descrição do Material Utilizado:

As amostras avaliadas consistiram em cinco formulações de kefir cremoso: kefir controle (KC), kefir com adição de açaí (KA), kefir com adição de morango (KM), kefir com adição de uva (KU) e kefir com uma mistura de frutas vermelhas (KMIX). As formulações foram preparadas seguindo os mesmos processos padronizados de produção para garantir consistência entre as amostras.

2.2. Recrutamento dos Avaliadores:

Os participantes do grupo focal foram selecionados com base em seu consumo regular de kefir ou outros produtos lácteos fermentados. Foram recrutados 20

avaliadores com nível superior de escolaridade. A seleção buscou garantir um público homogêneo quanto à familiaridade com produtos lácteos, promovendo uma discussão mais direcionada e relevante para o objetivo do estudo.

2.3. Sessão Experimental

O experimento foi realizado em uma única sessão com duração de 50 minutos, conduzida em um laboratório de análise sensorial adequado, com disposição dos participantes em círculo. Cada participante recebeu as cinco amostras de kefir para avaliação sensorial, seguindo a sequência previamente estabelecida.

O roteiro utilizado incluiu perguntas orientadoras que visavam estimular a discussão e identificar barreiras, preferências e percepções sensoriais relacionadas ao produto desenvolvido. Durante a sessão, os participantes foram incentivados a compartilhar suas impressões qualitativas sobre os atributos avaliados as descrições dos termos para os atributos sensoriais foram definidas para um melhor direcionamento dos avaliadores conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Definição dos termos para direcionamento na avaliação dos atributos sensoriais do kefir cremoso adicionado de frutas vermelhas.

Atributos avaliados	**Descrições dos atributos**
Aparência	Aqui será considerado o primeiro contato visual com o produto, sendo frequentemente influenciada por padrões associados a expectativas culturais e memórias afetivas. A textura visual, cor e uniformidade devem ser os principais aspectos avaliados.
Odor	O olfato está intimamente ligado à memória e às emoções, avalie a amostra relacionando-a com suas experiências prévias, intensidade e características olfativas, como o consumo de produtos

	semelhantes (ex.: iogurte, coalhada, leite fermentado).
Sabor	Avalie de acordo com suas as percepções individuais de doçura, acidez e o grau de familiaridade com o consumo de produtos semelhante (ex.: iogurte ou coalhada, leite fermentado).
Cremosidade	Avalie de acordo com a textura percebida ao paladar
Avaliação Global	Este atributo sintetiza a percepção geral , considerando todos os fatores sensoriais e a experiência como um todo.

Fonte: Elaborada pelo autor

2.4. Coleta de dados

As percepções sensoriais foram registradas durante a sessão, com destaque para os fatores que influenciaram a aceitação ou rejeição dos produtos, bem como sugestões para possíveis melhorias. Essa abordagem qualitativa permitiu uma análise detalhada e aprofundada das preferências dos consumidores, fornecendo informações valiosas para o aperfeiçoamento do produto desenvolvido.

3. Resultados e discussões

Na aparência, o KA foi descrito como menos cremoso devido à composição físico-química do açaí (pH e pectina), enquanto o KC teve melhor textura visual. A coloração escura do KA foi atrativa, associada ao aumento do parâmetro a* e redução do L*. O KM apresentou cores inconsistentes e partículas visíveis, interpretadas como negativas. Para o odor, o KC foi associado ao cheiro de produtos lácteos fermentados, como iogurte natural ou coalhado. Entre as frutas, o açaí e a uva destacaram-se por odores característicos, enquanto o morango teve impacto olfativo menos evidente.

O KMIX apresentou predominância do cheiro de açaí. No sabor, o KC foi percebido como menos doce, refletindo a ausência de sacarose e frutose. As amostras

KM e KU foram descritas como mais equilibradas, combinando acidez e doçura. Quanto à cremosidade, o KC foi unanimemente considerado o mais cremoso, seguido por KM, KU, KMIX e KA. O KM foi a amostra mais preferida, seguida por KC e KU.

As percepções sensoriais das amostras de kefir foram influenciadas por diversos fatores, incluindo aspectos comportamentais dos avaliados, expectativas, memórias afetivas e preconceitos estabelecidos em relação ao produto. Esses elementos destacam a necessidade de uma abordagem integrada para obter resultados consistentes e relevantes.

As percepções sensoriais das amostras de kefir foram altamente influenciadas por diversos fatores que vão além das características intrínsecas do produto. Entre esses fatores, destacam-se os comportamentos individuais dos avaliados no momento da análise, como expectativas prévias em relação ao produto, memórias afetivas que podem remeter a experiências anteriores e preconceitos estabelecidos, como preferências pessoais ou rejeições a determinados ingredientes ou alimentos. Esses elementos subjetivos desempenham um papel significativo na maneira como os atributos sensoriais são percebidos, ressaltando a complexidade da análise sensorial e a importância de compreender as interações entre o avaliador e o produto.

Para abordar essa complexidade e obter resultados mais consistentes e relevantes, foi necessária uma abordagem integrada. O método Focus Group mostrou uma ferramenta eficaz para captar tanto as percepções individuais quanto as coletivas, fornecendo informações mais aprofundadas sobre os atributos sensoriais do produto. A discussão em grupo permitiu explorar percepções subjetivas e avaliar como diferentes experiências e expectativas influenciaram a avaliação sensorial.

Os atributos analisados foram aparência, odor, sabor, cremosidade e avaliação global, escolhidos por sua relevância na acessibilidade de produtos lácteos fermentados. Essas partes representam aspectos sensoriais fundamentais que influenciam diretamente a decisão de compra e o consumo do kefir.

Ao longo da análise, a interação entre os diferentes atributos e os fatores subjetivos destacados revelou a complexidade da percepção sensorial, demonstrando como aspectos físicos do produto, como textura, cor e especificidade, interagem com as expectativas e experiências individuais dos avaliados. Essa inter-relação influencia diretamente as preferências e avaliações, destacando a importância de compreender o consumidor de forma

Além disso, foi possível identificar que memórias afetivas, como associações com alimentos previamente consumidos, e preconceitos estabelecidos em relação ao perfil sensorial das frutas incluídas desempenharam papéis importantes na formação das opiniões. Por exemplo, o kefir com açaí foi avaliado de maneira divergente, devido à associação do açaí com produtos açucarados, enquanto o kefir com morango apresentou desafios relacionados à expectativa de cor e odor típicos de produtos industrializados

Esses resultados apontam para a necessidade de considerar tanto as propriedades físico-químicas das formulações quanto os aspectos subjetivos dos consumidores ao desenvolver novos produtos. Estratégias como a personalização de perfis sensoriais e a educação do consumidor sobre as características naturais do kefir e das frutas podem melhorar a acessibilidade e ampliar o mercado de produtos lácteos fermentados funcionais.

3.1 *Aparência*

Os avaliadores destacaram uma textura visual agradável e uma cor atrativo para as amostras, com exceção do kefir com açaí (KA), que foi considerado menos cremoso em comparação com demais. Essa diferença pode ser atribuída à composição física e química do açaí, como o pH e a presença de pectina, que afetaram as partículas da calda e, consequentemente, a textura do produto. O kefir com morango (KM) também apresentou limitações na uniformidade de cor, sendo descrito como menos específico da fruta adicionada, possivelmente devido à ausência de corantes artificiais frequentemente associados a produtos comerciais de morango.

3.2 Odor

Os avaliadores associaram o odor do kefir a características típicas de produtos lácteos fermentados, como iogurte natural ou coalhada. Entre as formulações com frutas, a uva (KU) e o açaí (KA) apresentaram odor característico das respectivas frutas, enquanto a mistura de frutas (KMIX) teve maior predominância do aroma de açaí. Já o kefir de morango (KM) foi descrito como semelhante ao kefir controle em termos de odor, indicando uma baixa influência da fruta adicionada nesse atributo.

3.3 *Sabor*

A percepção de sabor varia entre as formulações. O kefir controle (KC), sem adição de calda, foi descrito como menos adocicado devido à ausência de sacarose e frutose, ressaltando o sabor natural do produto. Avaliadores que consomem kefir

regularmente dizem que na forma cremosa o sabor foi intensificado, relatando que a influência do processamento na análise sensorial.

As amostras KM (morango) e KU (uva) foram descritas como mais doces e com sabores frutados específicos, atribuídas às caldas adicionadas. Quanto a amostra KA (açaí) apresentou menor acidez e uma maior discordância entre os avaliados: 11 não gostaram, enquanto 9 gostaram. Esse resultado pode ser explicado pela familiaridade dos avaliados com o açaí, que normalmente é consumido como um xarope adoçado, associado ao relato de não consumo de açaí na forma natural pelos participantes. A amostra KMIX destacou-se pelo sabor de açaí predominantemente, alinhado com as percepções de odor.

3.4 *Cremosidade*

A cremosidade foi outro parâmetro fundamental avaliado. A amostra KC foi considerada a mais cremosa, enquanto a KA foi descrita como a menos cremosa. Essa diferença foi confirmada pelos dados reológicos, reforçando a importância da reologia para a caracterização sensorial dos produtos. Durante a discussão, os avaliadores ordenaram as amostras em termos de cremosidade, na escala dá mais para a menos cremosa: KC, KM, KU, KMIX e KA.

3.5 Preferência Global

A preferência varia significativamente entre os avaliados. Entre as amostras saborizadas, KM foi a mais preferida, seguida por KC e KU. A amostra KA foi a menos preferida, com o relato de que alguns participantes não faziam o consumo de açaí regularmente. Apesar das variações nas opções individuais, todas as formulações foram consideradas satisfatórias em termos de atributos sensoriais.

Esses resultados indicam que a sensorial acessível do kefir cremoso é extremamente influenciada pela familiaridade dos consumidores com os ingredientes aumentados e pela memória sensorial associada aos produtos. As informações fornecidas fornecem dados que servem para ajustes no desenvolvimento de produtos lácteos no âmbito de que atender melhor as expectativas dos consumidores e demandas de mercado.

4. **Considerações Finais**

De forma geral, os resultados demonstraram que todas as formulações de kefir cremoso com adição de frutas foram sensorialmente satisfatórias, evidenciando seu potencial para atender às demandas do mercado por produtos lácteos fermentados

funcionais. A interação entre os atributos sensoriais analisados – aparência, odor, sabor, cremosidade e avaliação global – e os fatores subjetivos dos avaliados destacados a complexidade envolvida na percepção do produto, bem como a influência de memórias afetivas.

A formulação com morango foi a mais preferida, reforçando as possibilidades de sabores familiares, enquanto o kefir com açaí apresentou opiniões divergentes, refletindo variações nas opções individuais e na familiaridade com o consumo do ingrediente. Essas observações indicam a importância de que existem necessidades específicas para atender a diferentes perfis de consumidores, como a intensificação de sabores ou a harmonização da textura, sem comprometer as características funcionais do produto.

Os resultados deste estudo oferecem contribuições relevantes para o desenvolvimento de produtos inovadores no setor de alimentos funcionais, ao mesmo tempo em que evidenciam a importância de compreender as interações entre propriedades físico-químicas e sensoriais e as percepções dos consumidores.

Como perspectivas futuras, recomenda-se a realização de estudos mais amplos, incluindo uma amostra diversificada de consumidores e diferentes condições de consumo, para explorar de forma mais abrangente as variáveis que influenciam a limitações do kefir cremoso.

Além disso, investigações adicionais puderam avaliar a influência de composições alternativas de frutas e adoçantes, bem como explorar estratégias para educar os consumidores sobre as características naturais do kefir, ampliando assim sua acessibilidade no mercado e fortalecendo sua posição como um produto inovador e funcional.

Ao integrar estratégias que alinhem as preferências sensoriais dos consumidores com os benefícios nutricionais e funcionais do kefir, este estudo contribui não apenas para o avanço no desenvolvimento de alimentos fermentados, mas também para a promoção de hábitos alimentares mais saudáveis.

5. Referências Bibliográficas

Berrondo, V., & Gámbaro, A. (2023). Innovation in focus group research. *American Journal of Food Science and Technology,* 11 (2), 44-48. https://doi.org/10.12691/ajfst-11-2-3

Bimbo, F., Bonanno, A., Nocella, G., Viscecchia, R., Nardone, G., De Devitiis, B., & Carlucci, D. (2017). Consumers' acceptance and preferences for nutrition-modified and functional dairy products: A systematic review. *Appetite,* 113, 141-154. https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.02.031

Casey, M. A., & Krueger, R. A. (1994). *Focus groups: A practical guide for applied research* (2nd ed.). SAGE Publications.

Dil, N., Khan, M., & Ali, S. (2024). Use and implementation of focus groups. *Medical Teacher.* https://doi.org/10.1080/0142159x.2024.2304451

Moreira, R. T., Farias, S. M. O. C., Coutinho, E. P., Fernandes, R. P. P., & Costa, S. S. (2020). Avaliação físico-química e caracterização sensorial por meio de focus group de carne de sol. *Revista do Instituto Adolfo Lutz,* 79, e1789. https://www.researchgate.net/publication/357822032

Sachdeva, S., Kumar Amit, T., & Eram, P. (2024). Discussão em grupo focal: uma ferramenta qualitativa emergente para pesquisa educacional. *International Journal of Research and Review,* 11 (9), 302–308. https://doi.org/10.52403/ijrr.20240932

Türkmen, N., Akal, C., & Özer, B. (2019). Dairy-based probiotic beverages: A review. *Journal of Functional Foods,* 53, 62-75. https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.12.004

Kandylis, P., Dimitrellou, D., & Moschakis, T. (2021). Recent applications of grapes and their derivatives in dairy products. *Trends in Food Science & Technology,* 114, 696-711. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.029

Capítulo 09

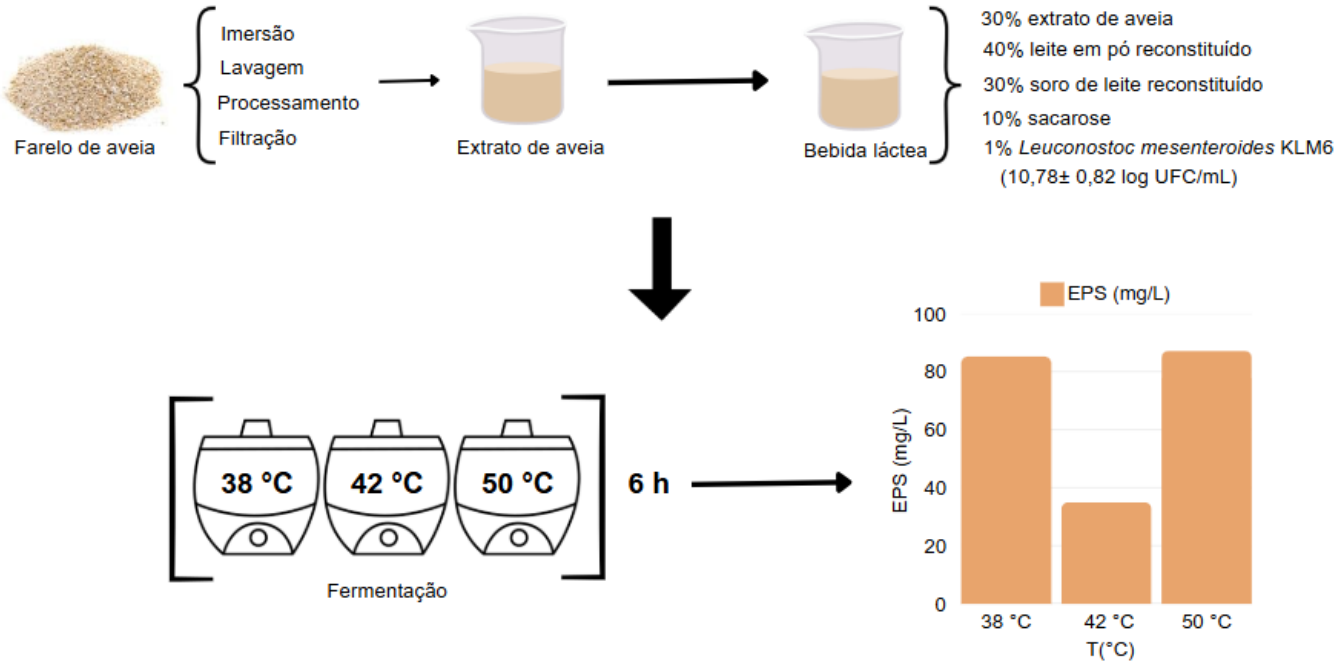
DOI: 10.53934/agronfy-2025-04-09

PRODUÇÃO DE EXOPOLISSACARÍDEOS POR *Leuconostoc mesenteroides* EM UMA BEBIDA LÁCTEA FERMENTADA COM AVEIA

Silvana Sigali[1];
Joice Ramson[1];
Maria Fernanda Siqueira[1];
Ângela Maria Fiorentini[1]

[1]Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas
E-mail para correspondência: silvanasigali@gmail.com

Resumo gráfico



Introdução

As bactérias ácido-láticas (BAL) constituem um grupo heterogêneo de microrganismos que sintetizam ácido lático como principal subproduto da metabolização de carboidratos e, por isso, são amplamente utilizadas na produção de alimentos fermentados (Ayivi et al. 2020). Esses microrganismos apresentam

características típicas de bactérias Gram-positivas, catalase-negativas, não formam esporos, toleram ambientes ácidos e podem ser anaeróbias, aeróbias facultativas ou microaerófilas (Wang et al. 2021; Werning et al. 2022). Durante a fermentação, as BAL produzem ácidos orgânicos e sintetizam compostos bioativos como aminoácidos, bacteriocinas e biopolímeros, além de enzimas glicolíticas, lipolíticas e proteolíticas (Joshi et al., 2024; García-Cano et al., 2020, Bisson et al., 2024).

Dentre os metabólitos sintetizados por BAL, os exopolissacarídeos (EPS) têm chamado atenção devido às suas propriedades com funcionalidade tecnológica como emulsificação, viscosidade e estabilidade (Liang et al. 2024). Esses biopolímeros são formados por longas cadeias de monossacarídeos e podem ser classificados como homopolissacarídeos (compostos por um único tipo de monossacarídeo) ou heteropolissacarídeos (compostos por dois ou mais tipos de monossacarídeos em diferentes proporções) (Diez-Ozaeta & Astiazaram, 2022; Daba et al. 2021).

Os exopolissacarídeos (EPS) sintetizados por bactérias ácido-láticas (BAL) desempenham papéis essenciais no aprimoramento das características funcionais de alimentos e materiais, atendendo às demandas da indústria moderna. A aplicação tem ganhado destaque devido à versatilidade e aos benefícios tecnológicos e de segurança alimentar que oferecem. Os EPS produzidos por BAL apresentam a capacidade de reter umidade em alimentos, modificar sua reologia, aumentando a firmeza e alterando suas propriedades biomecânicas (Kaur & Dey, 2023). Além disso, também demonstram propriedades antimicrobianas e antioxidantes, especialmente quando utilizados em materiais de embalagem, onde em um estudo conduzido por Jenab et al. (2017), o EPS produzido foi capaz de inibir a multiplicação de *Rhizoctonia*, *Pseudomonas* sp. e *Staphylococcus aureus*.

Com o crescente interesse por alternativas naturais e sustentáveis, os exopolissacarídeos (EPS) têm se destacado como componentes promissores na indústria alimentícia e de embalagens. Os EPS produzidos durante o processo fermentativo atendem à demanda do consumidor por aditivos mais saudáveis e diminuição do teor de gorduras de derivados lácteos sem alterar o aroma, textura e sabor característicos (Daba, Elhanas & Elkhateeb, 2021). Desse modo, os EPS possuem vantagens em relação aos polímeros sintéticos devido à sua origem natural, que os torna biodegradáveis, ao contrário dos polímeros derivados do petróleo, que

podem permanecer no ambiente por longos períodos (Mouro, Gomes & Gouveia, 2024).

Entre as BAL produtoras de EPS, a espécie Leuconostoc mesenteroides se destaca (Lule et al. 2016), principalmente na produção de EPS homopolissacarídeos do tipo dextrana (Baek et al. 2024), utilizando glicose, frutose e sacarose como fontes de energia (Miyamoto et al. 2023). A dextrana é incolor, inodora e insípida e quimicamente inerte, o que a torna compatível com diversos ingredientes alimentícios (Dahiya & Nigam, 2023). Esse metabólito é frequentemente aplicado na indústria de laticínios para espessar leites fermentados (de Paula et al. 2015). A produção in situ de EPS contribui para a melhoria da textura dos alimentos, aprimorando as propriedades sensoriais, como sabor, brilho e cremosidade, além de reduzir a sinérese durante o armazenamento refrigerado (London et al. 2015).

Uma matriz que tem se mostrado eficaz para a multiplicação de L. mesenteroides é a aveia, a qual é rica em oligossacarídeos, peptídeos e aminoácidos essenciais (Yu et al. 2023). Além de favorecer a multiplicação das BAL, a utilização da aveia em produtos alimentícios proporciona benefícios à saúde do consumidor (Decker, Rose & Stewart, 2014). Esse cereal contém β-glucanas, fibras dietéticas solúveis em água que, quando consumidas em quantidades iguais ou superiores a 3 g por dia, auxiliam na redução do colesterol total e do LDL (lipoproteínas de baixa densidade) (Whitehead et al. 2014; Tang et al. 2022). As β-glucanas também apresentam atividade prebiótica, contribuindo para a saúde intestinal ao estimular a multiplicação das BAL e beneficiar a microbiota intestinal (Ziarno & Cichońska, 2021).

A aveia tem se destacado como uma matriz promissora no desenvolvimento de bebidas fermentadas, graças à sua composição nutricional rica em fibras, especialmente β-glucanas, e compostos bioativos que oferecem diversos benefícios à saúde. Além de estimular a multiplicação de bactérias ácido-láticas, a incorporação da aveia enriquece os produtos com valor funcional. Diante disso, este estudo teve como objetivo avaliar a influência da temperatura de fermentação na síntese de EPS pela bactéria ácido-lática *Leuconostoc mesenteroides* KLM6, isolada de kefir, em uma bebida láctea fermentada contendo extrato hidrossolúvel de aveia.

Metodologia

2.1 Microrganismo

Foi utilizada como cultura fermentadora a espécie *Leuconostoc mesenteroides* KLM6 – isolada de kefir, caracterizada e identificada molecularmente, com código de acesso NZ_CP028251.1 no *GenBank* (Bierhals, 2024).

2.2 Produção da bebida láctea fermentada

A bebida láctea foi preparada utilizando 100 mL de uma formulação adaptada da metodologia de Klajn et al. (2021). Primeiramente, foi produzido o extrato de aveia, utilizando 20 g de farelo de aveia (Mundo Integral®) imerso em 30 mL de água por 60 minutos. Os flocos foram lavados em água corrente para remover o amido e processados com 30 mL de água gelada (~8 °C) por 2 minutos, sendo depois coados em tecido tipo *voil*.

Para a bebida láctea, foram misturados 40% de leite em pó reconstituído (Piracanjuba®), 30% de soro de leite reconstituído (BRF®), 30% de extrato de aveia e 10% de sacarose (Caravela®). A mistura foi tratada termicamente em banho-maria (90 °C/5 minutos), resfriada a 42 °C e inoculada com 1 mL da cultura de L. mesenteroides KLM6 (10,78 ± 0,82 log UFC/mL). Foram produzidas três bebidas fermentadas a 38 °C, 42 °C e 50 °C em iogurteira doméstica (Izumi®, Brasil) por 6 horas, sem controle de pH.

2.3 Extração de exopolissacarídeos

A extração do EPS produzido por *L. mesenteroides* KLM6 foi realizada conforme Dabour et al. (2005), com modificações de Ali et al. (2020) e Lima et al. (2008). A amostra foi aquecida a 100 °C por 30 minutos para inativar enzimas e liberar o EPS aderido às células. As células foram removidas por centrifugação a 5.000 *g*, 4 °C, por 20 minutos. O sobrenadante foi tratado com ácido tricloroacético (80%) na proporção de 1:6 e mantido a 4 °C por 60 minutos para precipitação de proteínas.

Após centrifugação a 7.000 *g*, 20 °C, por 35 minutos, etanol P.A. foi adicionado ao sobrenadante na proporção de 1:2, com repouso a 4 °C por 24 horas. O EPS precipitado foi obtido por centrifugação a 7.000 *g*, 4 °C, por 20 minutos. O precipitado foi ressuspendido em 10 mL de água destilada e submetido à diálise em membrana de 3.500 kDa (Serva®, Alemanha) sob agitação por 48 horas a 4 °C, para eliminar resíduos do ácido tricloroacético, sais e açúcares de baixo peso molecular.

2.4 Quantificação de exopolissacarídeos

Após as 48 h da etapa de diálise, o conteúdo da membrana foi recolhido e quantificado através da metodologia do fenol-ácido sulfúrico (Dubois et al. 1956). Em um tubo falcon, o conteúdo da membrana foi homogeneizado com uma solução de fenol 5% (1:0,25) e ácido sulfúrico (1:1,25). O tubo foi mantido em repouso por 10 min e em seguida agitados em vórtex por 30 s.

Após a agitação, os tubos foram levados a banho-maria a 25 °C por 20 min e em seguida foram aliquotados em placas de 96 poços e as leituras realizadas em espectrofotômetro de placas (EZ Read 400 Biochrom, Estados Unidos da América) em um comprimento de onda de 492 nm, em triplicata. Os resultados foram obtidos através da curva padrão de glicose.

Os dados coletados foram submetidos a análise estatística para verificar a significância das diferenças observadas entre as amostras. A análise de variância (ANOVA) foi aplicada, seguida pelo teste de Tukey para comparação das médias, considerando um nível de significância de $p < 0,05$. Todos os cálculos estatísticos foram realizados com o auxílio do software GraphPad 8.1, garantindo exatidão na interpretação dos resultados.

3. Resultados e discussão

A produção de exopolissacarídeos (EPS) por *Leuconostoc mesenteroides* KLM6 nas temperaturas de 38 °C, 42 °C e 50 °C está apresentada na Tabela 1. Os valores obtidos revelam diferenças na eficiência da síntese de EPS em função da temperatura de fermentação, com destaque para os resultados de 38 °C e 50 °C, que apresentaram produções significativamente superiores em comparação a 42 °C.

Tabela 1 - Produção de exopolissacarídeos por *Leuconostoc mesenteroides* KLM6 em uma bebida láctea fermentada com extrato de aveia nas temperaturas de 38 °C, 42 °C e 50 °C.

Temperatura	38 °C	42 °C	50 °C
EPS (mg/L)	85,19 ± 3,15[a]	35,0 ± 0,75[b]	87,14 ± 1,09[a]

Valores expressos em média e desvio padrão, das triplicatas.
Letras diferentes indicam diferença significativa entre os valores.
Fonte: A autora, 2024.

Os resultados indicam que, para as temperaturas de 38 °C e 50 °C, não houve diferença estatística significativa na produção de EPS, com valores de 85,19 mg/L e 87,14 mg/L, respectivamente. Em contrapartida, a fermentação a 42 °C resultou na menor produção de EPS (35,0 mg/L), sugerindo que esta temperatura não favoreceu

a atividade metabólica de *L. mesenteroides* KLM6 para a síntese de exopolissacarídeos.

Essa redução pode estar associada a uma atividade enzimática subótima ou a alterações na dinâmica do metabolismo celular em condições de temperatura intermediária. Por outro lado, os resultados obtidos para 38 °C e 50 °C indicam que essas temperaturas oferecem condições mais favoráveis para a produção de EPS, seja pela maior eficiência na conversão dos substratos disponíveis ou pela estabilidade dos sistemas enzimáticos responsáveis pela síntese dos biopolímeros.

Esses resultados reforçam que a temperatura de fermentação é um fator determinante para a produção de EPS, influenciando diretamente a quantidade e qualidade dos compostos obtidos.

Lule et al. (2015) avaliaram a produção de EPS por duas cepas de *L. mesenteroides* utilizando soro de leite como substrato. As amostras de soro de leite, enriquecidas com 10% de sacarose, 0,1% de extrato de levedura e fosfato de potássio dibásico, foram obtidas a partir da fabricação de queijo *paneer* e de queijo tradicional. A cepa *L. mesenteroides* NCDC 744, fermentada a 30 °C por 18 horas, produziu 12,7 ± 0,24 mg/L de EPS no soro de *paneer* e 11,6 ± 0,27 mg/L no soro de queijo. Já a cepa *L. mesenteroides* NCDC 745 apresentou valores semelhantes, com 10,51 ± 0,18 mg/L no soro de paneer e 9,40 ± 0,19 mg/L no soro de queijo.

Os resultados obtidos na produção de EPS por Lule et al. (2015) foram significativamente inferiores aos observados neste estudo, o que evidencia que, mesmo com a suplementação do meio com fontes de carbono simples, como sacarose e extrato de levedura, essas condições não foram suficientes para alcançar uma maior produção de EPS. Isso ressalta a importância de combinar substratos mais complexos, como o extrato hidrossolúvel de aveia, que oferece uma matriz rica em nutrientes e açúcares disponíveis, promovendo um ambiente mais favorável para a síntese otimizada de exopolissacarídeos.

Em outro estudo, a fermentação de soro de leite suplementado com lactose, glicose e sacarose a 30 °C por 48 horas resultou na produção de 12,136 mg/mL de EPS bruto pela cepa *L. mesenteroides* XR1 (Wang et al. 2021). Esse desempenho pode ser atribuído à suplementação do meio com glicose, conforme sugerido por Midik et al. (2020), que destacam a capacidade desse carboidrato de potencializar a síntese

de exopolissacarídeos ao fornecer uma fonte de energia facilmente metabolizável pela bactéria.

Angelin e Kavitha (2020) destacam que a produção máxima de EPS é geralmente alcançada ao final da fase exponencial de crescimento. Essa observação é corroborada por Baek et al. (2024), que investigaram a cepa *L. mesenteroides* J18 utilizando diferentes fontes de carbono. Em seus experimentos, a fase estacionária foi atingida após cerca de 10 horas de fermentação a 30 °C em meio suplementado com sacarose, enquanto no meio com glicose esse período foi estendido para aproximadamente 20 horas.

Esses dados ajudam a explicar os resultados do presente estudo, considerando que o farelo de aveia oferece uma matriz rica em açúcares, como sacarose, rafinose, maltose e glicose (MacArthur & D'Appolonia, 1979), que podem ser facilmente metabolizados por *L. mesenteroides* KLM6, favorecendo a produção de exopolissacarídeos.

3. Conclusão

A fermentação conduzida a 50 °C apresentou a maior concentração de exopolissacarídeos (EPS), destacando-se como a condição mais eficiente entre as temperaturas avaliadas. Essa temperatura não apenas maximizou a produção de EPS por Leuconostoc mesenteroides KLM6, mas também mostrou atender plenamente às exigências sensoriais e reológicas necessárias para o desenvolvimento de uma bebida láctea fermentada de qualidade superior. Os resultados obtidos sugerem que a temperatura de 50 °C favorece a atividade metabólica da cepa, otimizando a síntese de EPS e proporcionando melhorias significativas na textura, cremosidade e estabilidade do produto final.

Além disso, a matriz de extrato hidrossolúvel de aveia utilizada no estudo demonstrou ser uma excelente base para a multiplicação de L. mesenteroides KLM6, oferecendo nutrientes e açúcares essenciais para a produção de EPS. Essa combinação entre substrato e condições de fermentação reforça o potencial de inovação no desenvolvimento de bebidas fermentadas funcionais, alinhadas às tendências de consumo por alimentos saudáveis, sustentáveis e com benefícios tecnológicos.

Portanto, este estudo contribui para o avanço no entendimento dos fatores que influenciam a produção de EPS e sua aplicação na indústria alimentícia. Estudos futuros poderão explorar outras variáveis, como tempo de fermentação, diferentes fontes de carbono e combinações de matrizes, ampliando ainda mais o conhecimento sobre as condições ideais para maximizar a eficiência produtiva e as propriedades funcionais dos exopolissacarídeos.

Referências bibliográficas

Ali, P., Shah, A. A., Hasan, F., Hertkorn, N., Gonsior, M., Sajjad, W., & Chen, F. (2020). A glacier bacterium produces high yield of cryoprotective exopolysaccharide. *Frontiers in Microbiology*, *10*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.03096

Angelin, J., & Kavitha, M. (2020). Exopolysaccharides from probiotic bacteria and their health potential. *International Journal of Biological Macromolecules*, *162*, 853–865. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.06.190

Ayivi, R. D., Gyawali, R., Krastanov, A., Aljaloud, S. O., Worku, M., Tahergorabi, R., Silva, R. C. da, & Ibrahim, S. A. (2020). Lactic acid bacteria: food safety and human health applications. *Dairy*, *1*(3), 202–232. https://doi.org/10.3390/dairy1030015

Baek, J. H., Han, D. M., Choi, D. G., & Jeon, C. O. (2024). Unraveling the carbohydrate metabolic characteristics of *Leuconostoc mesenteroides* J18 through metabolite and transcriptome analyses. *Food Chemistry*, *435*, 137594–137594. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137594

Bierhals, C. K. (2024). *Isolamento e caracterização de bactérias ácido-láticas potencialmente produtoras de exopolissacarídeos provenientes de kefir* [Dissertação, Universidade Federal de Pelotas].

Bisson, G., Comuzzi, C., Giordani, E., Poletti, D., Boaro, M., & Marino, M. (2023). An exopolysaccharide from *Leuconostoc mesenteroides* showing interesting bioactivities versus foodborne microbial targets. *Carbohydrate Polymers*, *301*, 120363. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120363

Daba, G. M., Elnahas, M. O., & Elkhateeb, W. A. (2021). Contributions of exopolysaccharides from lactic acid bacteria as biotechnological tools in food, pharmaceutical, and medical applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, *173*, 79–89. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.01.110

Dabour, N., & LaPointe, G. (2005). Identification and molecular characterization of the chromosomal exopolysaccharide biosynthesis gene cluster from *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris* SMQ-461. *Applied and Environmental Microbiology*, *71*(11), 7414–7425. https://doi.org/10.1128/aem.71.11.7414-7425.2005

Dahiya, D., & Nigam, P. S. (2023). Dextran of diverse molecular-configurations used as a blood-plasma substitute, drug-delivery vehicle and food additive biosynthesized by *Leuconostoc, Lactobacillus* and *Weissella*. *Applied Sciences*, *13*(22), 12526–12526. https://doi.org/10.3390/app132212526

de Paula, A. T., Jeronymo-Ceneviva, A. B., Todorov, S. D., & Penna, A. L. B. (2015). The two faces of *Leuconostoc mesenteroides* in food systems. *Food Reviews International*, *31*(2), 147–171. https://doi.org/10.1080/87559129.2014.981825

Decker, E. A., Rose, D. J., & Stewart, D. (2014). Processing of oats and the impact of processing operations on nutrition and health benefits. *British Journal of Nutrition*, *112*(S2), S58–S64. https://doi.org/10.1017/s000711451400227x

Diez-Ozaeta, I., & Astiazaran, O. J. (2022). Fermented foods: An update on evidence-based health benefits and future perspectives. *Food Research International*, *156*, 111133. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111133

DuBois, Michel., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., & Smith, Fred. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, *28*(3), 350–356. https://doi.org/10.1021/ac60111a017

García-Cano, I., Rocha-Mendoza, D., Kosmerl, E., Zhang, L., & Jiménez-Flores, R. (2020). Technically relevant enzymes and proteins produced by LAB suitable for industrial and biological activity. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *104*(4), 1401–1422. https://doi.org/10.1007/s00253-019-10322-2

Jenab, A., Roghanian, R., Emtiazi, G., & Ghaedi, K. (2016). Manufacturing and structural analysis of antimicrobial kefiran/polyethylene oxide nanofibers for food packaging. *Iranian Polymer Journal.*, *26*(1), 31–39. https://doi.org/10.1007/s13726-016-0496-7

Joshi, T. J., V, S. S., Mohan, L., Nandagopal, P., & Arakal, J. J. (2024). Functional metabolites of probiotic lactic acid bacteria in fermented dairy products. *Food and Humanity*, *3*, 100341–100341. https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100341

Kaur, N., & Dey, P. (2023). Bacterial exopolysaccharides as emerging bioactive macromolecules: from fundamentals to applications. *Research in Microbiology*, *174*(4), 104024. https://doi.org/10.1016/j.resmic.2022.104024

Klajn, V. M., Ames, C. W., da Cunha, K. F., Lorini, A., Hackbart, H. C. dos S., Filho, P. J. S., Cruxen, C. E. dos S., & Fiorentini, Â. M. (2021). Probiotic fermented oat dairy beverage: viability of *Lactobacillus casei*, fatty acid profile, phenolic compound content and acceptability. *Journal of Food Science and Technology*, *58*(9), 3444–3452. https://doi.org/10.1007/s13197-021-04973-1

Liang, S., Wang, X., Li, C., & Liu, L. (2024). Biological activity of lactic acid bacteria exopolysaccharides and their applications in the food and pharmaceutical industries. *Foods*, *13*(11), 1621. https://doi.org/10.3390/foods13111621

Lima, L. F. O., Habu, S., Gern, J. C., Nascimento, B. M., Parada, J.-L., Noseda, M. D., Gonçalves, A. G., Nisha, V. R., Pandey, A., Soccol, V. T., & Soccol, C. R. (2008). Production and characterization of the exopolysaccharides produced by *Agaricus brasiliensis* in submerged fermentation. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, *151*(2-3), 283–294. https://doi.org/10.1007/s12010-008-8187-2

London, L. E. E., Chaurin, V., Auty, M. A. E., Fenelon, M. A., Fitzgerald, G. F., Ross, R. Paul., & Stanton, C. (2015). Use of *Lactobacillus mucosae* DPC 6426, an exopolysaccharide-producing strain, positively influences the techno-functional properties of yoghurt. *International Dairy Journal*, *40*, 33–38. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.08.011

Lule, V. K., Singh, R., Pophaly, S. D., Poonam, & Tomar, S. K. (2016). Production and structural characterisation of dextran from an indigenous strain of *Leuconostoc mesenteroides* BA08 in Whey. *International Journal of Dairy Technology*, *69*(4), 520–531. https://doi.org/10.1111/1471-0307.12271

Lule, V., Singh, R., Behare, P., & Tomar, S. K. (2015). Comparison of exopolysaccharide production by indigenous *Leuconostoc mesenteroides* strains in whey medium. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, *34*(1), 8. https://doi.org/10.5958/0976-0563.2015.00002.0

MacArthur, L. A., & D'Appolonia, B. L. (1979). Comparison of oat and wheat carbohydrates. I. Sugars. *Cereal Chem*, *56*(5).Mıdık, F., Tokatlı, M., Elmacı, S. B., & Özçelik, F. (2020). Influence of different culture conditions on exopolysaccharide production by indigenous lactic acid bacteria isolated from pickles. *Archives of Microbiology*, *202*(4), 875–885. https://doi.org/10.1007/s00203-019-01799-6

Miyamoto, J., Shimizu, H., Hisa, K., Matsuzaki, C., Inuki, S., Ando, Y., Nishida, A., Izumi, A., Yamano, M., Ushiroda, C., Irie, J., Katayama, T., Ohno, H., Itoh, H., Yamamoto, K., & Kimura, I. (2023). Host metabolic benefits of prebiotic exopolysaccharides produced by *Leuconostoc mesenteroides*. *Gut Microbes*, *15*(1), 2161271. https://doi.org/10.1080/19490976.2022.2161271

Mouro, C., Gomes, A. P., & Gouveia, I. C. (2024). Microbial exopolysaccharides: structure, diversity, applications, and future frontiers in sustainable functional materials. *Polysaccharides*, *5*(3), 241–287 https://doi.org/10.3390/polysaccharides5030018

Tang, Y., Li, S., Yan, J., Peng, Y., Weng, W., Yao, X., Gao, A., Cheng, J., Ruan, J., & Xu, B. (2022). Bioactive components and health functions of oat. *Food Reviews International*, 1–20. https://doi.org/10.1080/87559129.2022.2029477

Wang, L., Gu, Y., Zheng, X., Zhang, Y., Deng, K., Wu, T., & Cheng, H. (2021). Analysis of physicochemical properties of exopolysaccharide from *Leuconostoc mesenteroides* strain XR1 and its application in fermented milk. *LWT*, *146*, 111449. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111449

Werning, M. L., Hernández-Alcántara, A. M., Ruiz, M. J., Soto, L. P., Dueñas, M. T., López, P., & Frizzo, L. S. (2022). Biological functions of exopolysaccharides from lactic acid bacteria and their potential benefits for humans and farmed animals. *Foods*, *11*(9), 1284–1284. https://doi.org/10.3390/foods11091284

Whitehead, A., Beck, E. J., Tosh, S., & Wolever, T. M. (2014). Cholesterol-lowering effects of oat β-glucan: a meta-analysis of randomized controlled trials. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *100*(6), 1413–1421. https://doi.org/10.3945/ajcn.114.086108

Yu, Q., Qian, J., Guo, Y., Qian, H., Yao, W., & Cheng, Y. (2023). Applicable strains, processing techniques and health benefits of fermented oat beverages: a review. *Foods*, *12*(8), 1708. https://doi.org/10.3390/foods12081708

Ziarno, M., & Cichońska, P. (2021). Lactic acid bacteria-fermentable cereal- and pseudocereal-based beverages. *Microorganisms*, *9*(12), 2532. https://doi.org/10.3390/microorganisms9122532

Capítulo 10

DOI: 10.53934/agronfy-2025-04-10

BEBIDA ALCOÓLICA MISTA À BASE DE MEL, PITAYA E MARACUJÁ: INOVAÇÃO NO MERCADO DE FERMENTADOS

Patrícia Santos da Silva[1];
Luciana Cristina Lins de Aquino Santana[2].

[1] Mestra em Ciência e Tecnologia de Alimentos (UFS), Técnica em Química na Área técnico-científica/ EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, Aracaju/SE.
[2] Doutora em Engenharia Química, Professora do Departamento de Tecnologia de Alimentos/ Universidade Federal de Sergipe-UFS.

Resumo gráfico



1 Introdução

Os consumidores estão cada vez mais em busca de bebidas alcoólicas naturais, livres de aditivos químicos, e que proporcionem experiências mais autênticas e saudáveis. Esses produtos são valorizados por oferecerem ingredientes puros e orgânicos, promovendo uma alimentação mais saudável e sustentável (Asioli et al. 2017; Castellini & Samoggia, 2018).

O Brasil é um grande produtor de mel apícola de qualidade reconhecida, contabilizando 64,2 mil toneladas de mel em 2023 (IBGE, 2024). No entanto, o consumo interno per capita é pequeno, girando em torno de 80g por pessoa ao ano,

quando comprado ao de países como a Alemanha, onde esse consumo ultrapassa 1Kg de mel *per capita* ao ano. A maior parte do mel produzido no nosso país é destinado à exportação, tendo os Estados Unidos como os maiores compradores (FAO, 2022).

Nosso país também figura entre os cinco maiores produtores de culturas frutíferas, no mundo. Entretanto, há muitas perdas dessas frutas, principalmente na etapa de pós-colheita, atingindo cerca de 40% de perda das produções (FAO, 2022; EMBRAPA, 2024). Portanto, é imprescindível ter alternativas para evitar desperdícios e aumentar a renda do agricultor e o uso dessas frutas para produção de bebidas fermentadas mostra-se uma excelente alternativa. O principal objetivo de aplicação de frutas, seja *in natura*, em forma de polpa ou até mesmo resíduos da agroindústria (cascas, sementes e bagaço) para produção de fermentados, é conferir corpo, sabor, aroma e proporcionar identidade peculiar à bebida. (Pino et al., 2019; Freire et al., 2020; Savić et al., 2021).

Nesse contexto, A pitaia ou pitaya, cactácea conhecida também como fruta do dragão, cujas cultivares comerciais, do gênero *Hylocereus*, são originárias das florestas tropicais do México, América Central e América do Sul (Vizzotto et al., 2016). O fruto é rico em betalaínas, corante naturalmente encontrado em espécies botânicas pigmentadas de vermelho-violeta, laranja e amarelo, além de possui consideráveis concentrações de compostos fenólicos com atividade antioxidante, minerais como potássio, sódio, cálcio, magnésio, ferro e fósforo e vitamina C (Freitas et al., 2021; Vizzotto et al., 2016). A cor das betalaínas é próxima à das antocianinas, sendo três vezes mais forte, mais solúvel em água e mais estável em pH baixo (3,0-7,0), do que as antocianinas (Sadowska-Bartosz & Bartosz, 2021), suportando até tratamentos térmicos como a pasteurização, em meio acidificado (Azeredo, 2009).

Outra cultura de interesse no Brasil é o maracujá (*Passiflora* sp.), originário das Américas Tropical e Subtropical, existindo mais de 500 espécies. O fruto possui características sensoriais e nutricionais exploradas comercialmente, exibindo sabor e aroma exóticos e boa composição nutricional, sendo fonte de potássio, ferro, fósforo e cálcio, além de vitaminas A, C e do complexo B (Zeraik et al., 2010), além de grande quantidade de compostos fenólicos com atividade antioxidante (Santos et al., 2021; Weber et al., 2021).

Não foram encontradas na literatura, referências de bebidas alcoólicas fermentadas, elaboradas com mel, pitaya e maracujá. Dessa forma, o objetivo do estudo foi desenvolver uma bebida alcoólica mista, via processo fermentativo, naturalmente gaseificada, tendo essas matérias-primas como base, sem adição de adjuntos químicos artificiais; além de avaliar as características físico-químicas, o potencial antioxidante e o perfil de compostos voláteis da bebida.

2 Metodologia

2.1 Matéria-prima

- **Mel:** O mel apícola foi adquirido de apicultora do município de Monte Alegre, Sertão Sergipano, coordenadas 10°01’37” S; 37°33’43”O, localizado a 146 Km da capital do Estado.
- **Frutas:** Os frutos de pitaia de maracujá foram comprados maduros de produtor rural, no município de São Domingos, localizado no Agreste sergipano, coordenadas 10°48’02.4” S 37°32’20.2”W, a 73Km da capital Aracaju.
- **Água:** Foi usada água potável, filtrada, isenta de cloro, proveniente da rede pública de abastecimento.
- **Leveduras:** Foram utilizadas cepas leveduras *Saccharomyces cerevisiae* liofilizadas, da marca Mangrove Jack’s M05 (Mangrove Jack’s, Auckland-North Island, Nova Zelândia), apropriada para uso em mostos com alta densidade.
- **Nutrientes para leveduras:** Além dos minerais e vitaminas contidos no mel e nos frutos, foi utilizado pólen apícola desidratado, da marca Meljupira, adquirido apicultor, no município de Aracaju/SE.

2.2 Reagentes Químicos

Os reagentes químicos Hidróxido de Sódio (NaOH), Carbonato de Sódio (Na_2CO_3), Fenolftaleína, Dicromato de Sódio ($Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$), Cloreto de Sódio (NaCl) e Álcool Etílico foram adquiridos da Dinâmica® (Química Contemporânea LTDA, Indaiatuba, SP, Brasil). Enquanto os reagentes Trolox, ABTS (2,2′-azino-di-(3-etilbenzotiazolina ácido sulfônico), FRAP (poder antioxidante de redução de ferro), 1-octanol e a mistura de hidrocarbonetos C7-C30 foram adquiridos da Sigma Aldrich (St Louis, Missouri, EUA).

2.3 Produção da Bebida Alcoólica Mista

A produção da bebida ocorreu conforme Da Silva (2023), com algumas variações, a fim de avaliar outras possibilidades tecnológicas. O mosto (1 Litro) foi preparado, em triplicata, com 290 g de mel (78°Brix), 800 g de água, 100 g de polpa

de pitaya vermelha e 100 g de polpa de maracujá, resultando em 22°Brix, densidade de 1.092 g/L e pH de 3,9. Adicionaram-se 1,5 g de pólen apícola e $1,7x10^7$ células/mL de levedura *Saccharomyces cerevisiae* liofilizada. A fermentação ocorreu em baldes de polipropileno, a 25°C por 72 horas, sendo interrompida por meio do resfriamento do sistema (10°C), a fim de induzir a decantação das leveduras. Em seguida, a bebida foi envasada em garrafas de vidro e rolhas de cortiça, sendo mantida sob refrigeração até o momento das análises.

2.4 Análises Físico-Químicas

As análises de sólidos solúveis (°Brix) e pH foram realizadas por leitura direta em refratômetro digital de bancada (Atago, modelo Pallete PR-32-Alpha, Japão) e pHmetro digital (Tecnopon, modelo Mpa-210). A acidez total (mEq/L) foi determinada por titulação de 10 mL de hidromel em 100 mL de água com solução de hidróxido de sódio 0,1 M, utilizando fenolftaleína como indicador. Para a análise de acidez volátil (mEq/L), uma alíquota de 10 mL da amostra foi previamente destilada em um aparelho Kjeldahl (Tecnal, modelo TE 036/1) e 100 mL do destilado foram titulados com solução de hidróxido de sódio 0,1 M, utilizando fenolftaleína como indicador, conforme as metodologias descritas no Compendium of International Methods of Wine and Must Analysis (OIV, 2021). O teor alcoólico foi determinado pelo método colorimétrico com dicromato de sódio, em espectofotômetro UV-Vis (Thermo Scientific, modelo Genesys 10S, USA). Para tanto, foi construída uma curva padrão com álcool etílico (2,0 e 20,0 g/L) a 578 nm, obtendo-se equação da reta $y = 0.0123x + 0.0033$, $R^2 = 0.9923$ (Sumbhate et al., 2012).

2.5 Avaliação da Atividade Antioxidante pelos métodos ABTS e FRAP

A avaliação da atividade antioxidante (AA) pelo método de redução do radical ABTS (ácido 2’-azinobis (3-etilbenzeno-tiazolina-6-sulfônico), foi executado conforme Savić et al. (2021). Para tanto, 30µL da bebida alcoólica mista e 3,0 mL do reagente (preparado 16 h antes do uso) foram pipetados em tubo de ensaio, em triplicata, e homogeneizados em vórtex. Após 6 min.de repouso em ambiente escuro, fez-se a leitura da absorbância a 734 nm, em espectrofotômetro UV-Vis (Thermo Scientific, modelo Genesys 10S, USA). Diferentes concentrações de Trolox (50 - 2000 µMol Trolox/L, equivalente a 0,12 e 4,95 µg trolox/mL da reação) foram utilizadas para

construção da curva de calibração (y = −0,1143x + 0,7022 (R^2 = 0,9984). Para o branco foi utilizado álcool etílico p.a. (álcool absoluto, 99,8%).

Para o método FRAP (Poder Antioxidante de Redução do Ferro), as análises foram executadas segundo Adamenko et al. (2021). Inicialmente, foram transferidos para um tubo de ensaio, uma alíquota de 150µL da bebida e 2,85 mL do reagente FRAP, em triplicata. A mistura foi homogeneizada em vórtex e aquecida em banho-maria a 37 °C por 30 min. Logo após, a amostra foi resfriada em banho com gelo e a absorbância a 593 nm foi lida em espectrofotômetro UV-Vis (Thermo Scientific, modelo Genesys 10S, USA). Diferentes concentrações de Trolox (25 - 600 µMol Trolox/L, equivalente a 0,31 - 7,50 µg trolox/mL da reação) foram utilizadas para construção da curva de calibração (y = 0,0492x + 0,0013 (R^2 = 0,9975). Para o branco foi utilizada a mistura entre 150µL de solução alcoólica (5%v/v) e 2,85 mL do reagente FRAP. Todos os resultados expressos em µg equivalente de Trolox/mL da bebida.

2.6 Compostos Orgânicos Voláteis

2.6.1 Extração dos voláteis

A extração dos compostos voláteis da bebida alcoólica mista foi realizada pela técnica de extração sortiva em headspace (HSSE- *Headspace Sorptive Extraction)*, utilizando *twisters* (ou barras de agitação) PDMS (10 milímetros e 0,5 mm polidimetilsiloxano), condicionados de acordo com as instruções do fabricante (Gerstel, Muelheim an der Ruhr, Alemanha), conforme a metodologia aplicada por Ruvalcaba et al. (2020), com modificações. Para a extração, 10 mL da amostra e 1,5 g de cloreto de sódio (NaCl) foram adicionados em um vial de 20 mL vedado com septo, e mantidos a 40°C, sob agitação magnética de 1500 rpm. O *twister* foi exposto ao *headspace* da solução para adsorção dos analitos por 60 min e após a extração, foi removido com pinça, enxaguado com água deionizada, seco com tecidos sem fiapos e inserido em um tubo de vidro condicionado para a Unidade de Dessorção Térmica (TDU 2; Gerstel, Alemanha).

Os compostos voláteis capturados pela técnica HSSE foram dessorvidos no sistema através de uma unidade de dessorção térmica (TDU-*Thermal Desorption Unit*) da marca Gerstel (Alemanha), com a seguinte programação: A temperatura da TDU foi mantida a 30°C por 0,5 min, depois aumentada com 120°C/min para 250 °C e mantida nesta temperatura por 5 min para dessorver os compostos aromáticos

(termodessorção). Os analitos passaram por um sistema de injeção a frio (CIS). Após a termodsorção, o CIS foi imediatamente aquecido a 12°C/s de 40°C a 250°C e mantido por 5 min para liberar os analitos para a coluna do cromatógrafo a gás. Os *twisters* foram recondicionados após cada análise em um tubo condicionador (TC 2; Gerstel, Alemanha).

2.6.2 Cromatografia Gasosa-Espectrometria de Massa

As amostras foram analisadas em cromatógrafo a gás (Agilent, modelo 7890B) acoplado a um espectrômetro de massas (Agilent, modelo 5977A). A separação foi obtida em uma coluna capilar apolar HP-5MS (30 m × 0,25 mm id, espessura de filme de 0,25 µm) adquirida da empresa J&W Scientific, Agilent Technologies (USA). A temperatura do injetor foi fixada em 240°C, e hélio como gás de arraste na vazão de 1,3 mL por min no sistema de injeção *splitless*. As condições utilizadas no sistema do GC foram: temperatura inicial do forno 40°C, aumentando-se a uma taxa de 3°C/min até 130°C, permanecendo por 1 min, e de 15º/min até 250º (1min). As temperaturas da linha de transferência, da fonte de íons e quadrupolo foram de 260°C, 280°C e 180°C, respectivamente. A voltagem da fonte de ionização foi de 70 eV, com a faixa de *scanning* de massa foi de 35 a 350 u.m.a.

2.6.3 Identificação e Quantificação

Os compostos voláteis foram identificados comparando-se seus espectros de massa com os obtidos na biblioteca NIST *Mass Spectral Search Program* (NIST, Washington, DC), sendo também identificados, provisoriamente, comparando-se os índices de retenção experimentais com os teóricos, obtidos na literatura. O índice de retenção dos compostos foi calculado baseado no tempo de retenção de uma série de alcanos (C7-C30). Para quantificar os voláteis, as áreas integradas, com base no cromatograma de íons totais, foram divididas pelo pico do padrão interno, assumindo um fator de resposta igual a 1. As concentrações relativas dos voláteis foram determinadas por comparação com a concentração do padrão interno (1-octanol). Os resultados foram apresentados em mg/L.

2.7 Análise Estatística dos Dados

Todos os resultados foram expressos pela média ± desvio padrão, sendo calculado por meio do software Excel 365 version 2402 (Microsoft, Washington, USA).

3 Resultados e Discussões

3.1 Parâmetros Físico-Químicos

O teor alcoólico da bebida estava de acordo com o preconizado pela Instrução Normativa n° 35 de 16 de novembro de 2010, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a qual estabelece a faixa de 0,5% a 15%(v/v) para bebidas alcoólicas mistas gaseificadas (Brasil, 2010). Embora os demais parâmetros avaliados (Tabela 1) não sejam determinados pela referida legislação, eles são importantes por representarem características químicas e sensoriais importantes nas bebidas fermentadas, como dulçor residual (Sólidos solúveis), acidez (acidez total, acidez volátil e pH).

A concentração alcoólica da bebida produzida se aproxima a de cervejas amplamente comercializadas no Brasil, o que pode representar mais uma opção de bebida fermentada para os consumidores desse nicho de mercado.

Não foram encontradas na literatura referências de produções de bebidas alcoólicas mistas comparáveis, usando os mesmos ingredientes utilizados neste trabalho (mel, pitaya, maracujá e pólen apícola). No entanto, bebidas alcoólicas produzidas a partir da fermentação do suco de pitaya durante 14 dias, apresentaram 8,3% a 8,9 % (v/v) de álcool, sólidos solúveis variando entre 8,0 e 9,0 °Brix e pH entre 4,0 e 5,0 (Liu & Jiang, 2020). Santos et al. (2021) produziram fermentado alcoólico de maracujá, a partir do suco da fruta, em diferentes estágios de maturação. Os pesquisadores obtiveram, após seis dias de fermentação, bebidas com teor alcoólico entre 6,99% e 8,12% (v/v), pH variando de 2,99 a 3,21, acidez total entre 498,35 e 527,50 meq/L e acidez volátil de 5,53 a 6,67 meq/L.

Tabela 2- Parâmetros físico-químicos da bebida alcoólica mista à base de mel, pitaya e maracujá.

Parâmetros	Média ± desvio-padrão	IN N° 35/2010*
Teor alcoólico (% v/v)	4,48 ± 0,23	0,5-15
Acidez total (meq/L)	101,37 ± 0,51	n.e.
Acidez volátil (meq/L)	4,08 ± 0,29	n.e.
Sólidos solúveis (°Brix)	12,60 ± 0,23	n.e.

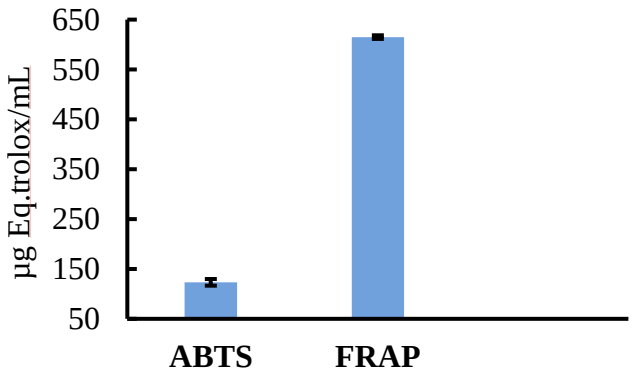
pH	4,07 ± 0,08	n.e.

Legenda: Média ± desvio padrão (n=3); *Instrução Normativa n°35 de 16 de novembro de 2010, do MAPA.

3.2 Atividade Antioxidante

A bebida fermentada de mel, pitaya e maracujá apresentou atividade antioxidante de 123,17 ±6,66 µg trolox/mL pelo método ABTS e 614,91 ±3,65 µg trolox/mL pelo FRAP, conforme mostra a Figura 1, o que evidencia a presença de compostos antioxidantes com caráter lipofílico/hidrofóbico, além da existência de substâncias com poder para reduzir o ferro.

Figura 1- Potencial antioxidante da bebida alcóolica mista, pelos métodos ABTS e FRAP.



Legenda:Média ±desvio padrão (n=3). µg.Eq.trolox/mL= micrograma equivalente de trolox, por mililitro.

Outros estudos também relataram a presença de compostos com potencial antioxidante em bebidas fermentadas, produzidas com mel e a adição de frutas vermelhas, como cereja e amora (Adamenko et al., 2021; Savić et al., 2021).

Liu & Jiang (2020) identificaram alta capacidade de absorção de radicais livres, pelo método ORAC, em bebidas alcoólicas fermentadas a partir do suco de pitaya variando entre 10 e 12 mmol de trolox equivalente/L, representando concentrações de 2.503 a 3.004 µg de trolox equivalente/mL de bebida. Em fermentados de maracujá, produzidos com o suco da fruta madura, por Santos et al. (2021), observaram-se valores para o método FRAP variando entre 3,94 e 5,99 mmol de trolox equivalente/L, o que corresponde a uma faixa de concentração entre 999 e 1.501 µg de trolox equivalente/mL de bebida.

3.3 Perfil de Compostos voláteis

Vinte e oito compostos voláteis foram identificados, distribuindo-se entre as classes dos álcoois superiores, ésteres, terpenos e aldeídos (Tabela 2 e Figura 2).

O grupo dos ésteres apresentou o maior número de compostos (11 voláteis, 39,3% do total), com destaque para o acetato de 3-metilbutila (18,74 ±3,65 mg/L), o qual é responsável por contribuir com aromas adocicado e frutado (Moreno et al. 2005; Pino et al., 2019). Já a classe dos álcoois superiores apresentou a maior concentração total, no somatório dos seis voláteis quantificados nesse grupo químico (Figura 2), dos quais, o álcool 2-feniletílico foi o composto com a maior concentração (26,39 ±2,72 mg/L) não só entre os álcoois, como entre todos os voláteis observados na bebida alcoólica mista de mel, pitaya e maracujá (Tabela 2).

Os álcoois superiores conferem notas aromáticas florais e frutais às bebidas alcoólicas fermentadas (Pino et al., 2019). Dentre os nove terpenos identificados, linalol e limoneno demonstraram as maiores concentrações (0,77 ±0,02 e 0,72 ±0,05 mg/L, respectivamente), sendo conhecidos por contribuir com aromas cítricos e florais (Moreno et al. 2005).

Pertencendo à classe dos aldeídos, benzaldeído e nonanal conferem notas frutadas, florais e cítricas às bebidas fermentadas, sendo perceptíveis mesmo em concentrações baixas (Moreno et al. 2005; Pino et al. 2019).

Figura 2- Bebida alcoólica mista de mel, pitaya e maracujá e seu perfil aromático.



Legenda: Média ±desvio padrão (n=3). [C] mg/L= concentração em miligramas por litro.

Tabela 3- Compostos aromáticos em bebida alcoólica mista de mel, pitaya e maracujá.

Composto	CAS[1]	[C] (mg/L)[2]	Descrição odorífera[3]
Ésteres			
Butanoato de etil 2-metila	7452-79-1	0,10±0,004	Frutado; maçã verde
Acetato de 3-metilbutila	123-92-2	18,74±3,65	Frutado; banana; doce
Pentanoato de etila	539-82-2	0,15±0,01	Frutado; maçã; abacaxi
Hexanoato de etila	123-66-0	4,78±1,21	Frutado; abacaxi; banana
Benzoato de etila	93-89-0	0,07±0,004	Frutado
Succinato de etila	123-25-1	0,05±0,006	Frutado; maçã
Octanoato de etila	106-32-1	0,39±0,01	Aroma de mel; frutado
Acetato de etila 2-fenil	101-97-3	0,63±0,03	Aroma de mel; floral; doce
Acetato de 2-feniletila	103-45-7	1,50±0,09	Aroma de mel; floral; doce
Decanoato de etila	110-38-3	0,04±0,001	Frutado; maçã; uva; doce
Dodecanoato de etila	106-33-2	0,01±0,001	Floral; doce
Terpenos			
Limoneno	138-86-3	0,72±0,05	Cítrico; herbal
Óxido de cis-Linalol	5989-33-3	0,22±0,02	Floral; amadeirado; doce
Oxido de trans-Linalol	34995-77-2	0,09±0,001	Floral
Linalol	78-70-6	0,77±0,02	Cítrico; floral; doce
Terpinene-4-ol	562-74-3	0,09±0,01	Pimenta; amadeirado
α-Terpineol	98-55-5	0,11±0,001	Cítrico; amadeirado
β-Citronelol	106-22-9	0,09±0,002	Cítrico; floral
Pulegona	89-82-7	0,04±0,001	Herbal; cânfora
β-Damascenona	23696-85-7	0,02±0,001	Aroma de mel; floral
Álcoois superiores			
3-Metil-1-butanol	123-51-3	3,02±0,17	Frutado; banana; floral
3-Metil-1-pentanol	589-35-5	0,13±0,02	Frutado; cacau; vinho

1-Hexanol	111-27-3	0,41±0,05	Frutado; doce; alcoólico
Álcool 2-feniletílico	60-12-8	26,39±2,72	Floral; aroma de rosas
2-Undecanol	1653-30-1	0,01±0,002	Frutado; fresco
Aldeídos			
Benzenaldeído	100-52-7	0,21±0,03	Frutado; amêndoas
Nonanal	124-19-6	0,11±0,01	Casca de laranja; floral

Legenda: Média ±desvio padrão (n=3). [1]**CAS:** Chemical Abstract Service; [2]**[C](mg/L):** Concentração em miligramas/litro de bebida; [3]**Descrição odorífera:** (https://www.flavornet.org/flavornet.html; https://www.femaflavor.org/flavor-library/).

Santos et al. (2021) identificaram notas aromáticas frutadas, florais, cítricas, refrescantes e doces, ao analisar fermentados de maracujá sensorialmente, pela técnica CATA (*Check-all-that-apply*). Enquanto Liu & Jiang (2020) observaram a presença de compostos voláteis como 3-metilbutanol, 1-hexanol, álcool 2-feniletílico, hexanoato de etila, octanoato de etila, acetato de 3-metilbutila, acetato de 2-feniletila. Todos os compostos aromáticos relatados pelos autores, também foram observados na bebida fermentada à base de mel, pitaya e maracujá.

Não apenas as frutas, mas também o mel, o pólen apícola e a levedura utilizados na elaboração de fermentados alcoólicos podem contribuir com o *bouquet* aromático da bebida. Estudos relataram a presença de compostos voláteis com aromas florais, frutados, adocicados e refrescantes em méis brasileiros (Da Costa et al., 2018) e em pólen apícola (Mărgăoan et al., 2020), e a incorporação dos aromas nas bebidas produzidas com essas matérias primas (Roldán et al., 2011). A empresa Mangrove Jack's (Auckland-North Island, Nova Zelândia) descreve a cepa Mangrove Jack's M05 como produtora de altas concentrações de ésteres florais e frescos (https://mangrovejacks.com/collections/yeasts/products/mead-m05-yeast-10g). Esses dados destacam as características sensoriais interessantes que bebidas alcoólicas fermentadas, produzidas com ingredientes naturais, podem apresentar.

4 Considerações finais

A bebida alcóolica mista de mel, pitaya e maracujá apresentou coloração rósea atrativa, sem adição de corantes artificiais e conservantes, sendo considerada um produto *clean label*. Outros achados de interesse foram a potencial atividade

antioxidante e os compostos aromáticos identificados. A perspectiva é expandir essa técnica de produção na elaboração de bebidas alcoólicas com mel e outras frutas, oferecendo uma alternativa promissora para o setor de alimentos e bebidas fermentadas, com foco em produtos naturais.

5 Referências

Adamenko K., Kawa-Rygielska, J., Kucharska, A.Z., Glowacki, A., Piórecki, N. (2021). Changes in the antioxidative activity and the content of phenolics and iridoids during fermentation and aging of natural fruit meads. *Biomolecules,* 11 (8),1113, 1-16. https://doi.org/10.3390/biom11081113

Asioli, D., Aschemann-Witzel, J., Caputo, V., Vecchio, R., Annunziata, A., Næs, T., & Varela, P. (2017). Making sense of the "clean label" trends: A review of consumer food choice behavior and discussion of industry implications. *Food Research International*, 99 (1), 58-71. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.022

Azeredo, H.M.C. (2009). Betalains: properties, sources, applications, and stability – a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 44, 2365–2376. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01668.x

Brasil (2010). Instrução Normativa nº 35, de 16 de novembro de 2010, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Estabelece a complementação dos padrões de identidade e qualidade para as bebidas alcoólicas por mistura, comercializadas em todo o território nacional. *Diário Oficial da União* n°219, seção1, Brasília, DF, 17 nov. 2010.

Castellini, A. & Samoggia, A. (2018). Millennial consumers' wine consumption and purchasing habits and attitude towards wine innovation. *Wine Economics and Policy*, 7 (2), 128-139. https://doi.org/10.1016/j.wep.2018.11.001

Da Costa, A.C.V., Sousa, J.M.B., Da Silva, M.A.A.P., Garruti, D.S., & Magruga, M.S. (2018). Sensory and volatile profiles of monofloral honeys produced by native stingless bees of the brazilian semiarid region. *Food Research International*, 105, 110-120. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.043

Da Silva, P.S. (2023). Mel e frutas além do óbvio: Produção de hidroméis como atividade econômica no Nordeste brasileiro. In V.M.A Silva, N.C. Santos & V.H.A. Ribeiro (Orgs.), *Processamento de Alimentos: Pesquisas e inovações para novos produtos* (pp. 102-112). Editora Agron Food Academy. https://doi.org/10.53934/202311-10

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- EMBRAPA. Perdas e desperdício de alimentos (2024). Disponível em: https://www.embrapa.br/tema-perdas-e-desperdicio-de-alimentos/sobre-o-tema. Acesso em:07 jan.2025.

Freire, B. R., Lemes, D. S., Moraes, A. S. S., Gris, E.F., Chaker, J.A., & Orsi, D.C. (2020). Caracterização físico-química de cervejas artesanais de atemoia (*Annona cherimoia* Mill. x *Anonna squamosa* L) e de sapoti (*Manilkara sapota* L.). *Revista Agrarian,* 13(48), 280-287. https://doi.org/10.30612/agrarian.v13i48.9232

Freitas, B.A.G., Ribeiro, J.S., Viana, E.B.M., Souza, C.C.E., & Zanuto, M.E. (2021). Aspectos químicos, fitoquímicos e funcionais das pitaias *Hylocereus undatus*, *Hylocereus monacanthus* e *Hylocereus megalanthus*: Uma revisão. *Brazilian Journal of Health Review*, 4(5), 19986-20024. https://doi.org/10.34119/bjhrv4n5-123

Food and Agriculture Organization (FAO). Food Balance 2022_Honey**.** Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/?#data/FBS>. Acesso em: 17 dez. 2024.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE (2024). *Pesquisa Pecuária Municipal*. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/74. Acesso em: 12 dez. 2024.

Liu, S. Q. & Jiang, X. (2020). A dragon fruit-derivate beverage (WO 2020/055334 A1). World Intellectual Property Organization (WIPO), 1-26. https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2020055334&_cid=P10-M5MS1G-46977-2.

Mărgăoan, R., Cornea-Cipcigan, M., Topal, E., & Kösoğlu, M. (2020). Impact of Fermentation Processes on the Bioactive Profile and Health-Promoting Properties of Bee Bread, Mead and Honey Vinegar. *Processes*, *8*(9), 1081. https://doi.org/10.3390/pr8091081

Moreno, J. A., Zea, L., Moyano, L., & Medina, M. (2005). Aroma compounds as markers of the changes in sherry wines subjected to biological ageing. *Food Control*, 16(4), 333-338. https://doi:10.1016/j.foodcont.2004.03.013

OIV (2021). *Compendium of International Methods of Wine and Must Analysis*. Ed. 2021, vol. 1, Paris. Disponível em:<https://www.oiv.int/public/medias/7907/oiv-vol1-compendium-of-international-methods-of-analysis.pdf>.Acesso em: 10 dez. 2024.

Pino, J.A. & Quijano-Célis, C.E. (2019). Characterization of odour-active volatile compounds of acerola wine. *Acta Alimentaria*, 48 (3), 306-315. https://doi:10.1556/066.2019.48.3.5

Roldán, A., Van Muiswinkel, G.C.J., Lasanta, C., Palacios, V., & Caro, I. (2011). Influence of pollen addition on mead elaboration: Physicochemical and sensory characteristics. *Food Chemistry,* 126(2), 574-582. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.045

Ruvalcaba, J.E., Durán-Guerreiro, E., Barroso, C.G., & Castro, R. (2020). Development of head space sorptive extraction method for the determination of volatile compounds in beer and comparison with stir bar sorptive extraction. *Foods*. 9 (3), 255. https://doi.org/10.3390/foods9030255

Sadowska-Bartosz, I. & Bartosz, G. (2021). Biological properties and applications of betalains. *Molecules*, 26 (9), 2520. https://doi.org/10.3390/molecules26092520

Santos, R.T.S., Biasoto, A.C.T., Rybka, A.C.P., Castro, C.D.P.C., Aidar, S.T., Borges, G.S.C., & Silva, F.L.H. (2021). Physicochemical characterization, bioactive compounds, in vitro antioxidant activity, sensory profile and consumer acceptability of fermented alcoholic beverage obtained from Caatinga passion fruit (*Passiflora cincinnata* Mast.). *LWT- Food Science and Technology*,148,111714. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111714

Savić, A., Velemir, A., Papuga, S., & Stojković, M. (2021). Influence of blackberry juice addition on mead fermentation and quality. *Food and Raw Materials*, 9(1),146-152.

Sumbhate, S., Nayak, S., Goupale, D., Tiwari, A., & Jadon, R.S., 2012. Colorimetric Method for the Estimation of Ethanol in Alcoholic Drinks. J. Anal. Tech.1(1),1-6. http://www.arjournals.org/index.php/jat/index.

Vizzotto, M., Schiavon, M.V., Pereira, E.S., Munhoz, P.C., Fonseca, L.X., Ferri, N.M.L., & Krolow, A.C. (2016). Caracterização físico-química, composição mineral e compostos bioativos em duas espécies de pitaias da região Sul do Brasil. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento da Embrapa*, 243, 1-28. https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1072945/1/Boletim243.pdf.

Weber, D., Hoffmann, J.F., Barreto, C.F., Zandoná, G.P., Nachtigal, J.C., Chaves, F.C., & Malgarim, M.B. (2021). Bioactive content of six passion fruit genotypes cultivated in southern Brazil. *Bioscience Journal*, 37, e37086, 1-8. https://doi.org/10.14393/BJ-v37n0a2021-54096

Zeraik, M.L. Pereira, C.A.M., Zuin, V.G., & Yariwake, J.H. (2010). Maracujá: um alimento funcional? *Revista Brasileira de Farmacognosia,* 20(3), 459-471. https://doi.org/10.1590/S0102-695X2010000300026

Capítulo 11

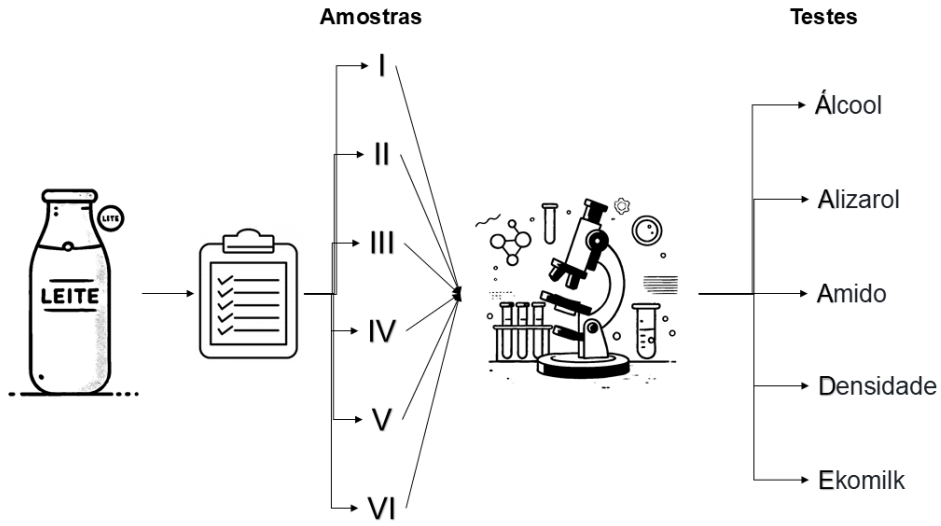
DOI: 10.53934/agronfy-2025-04-11

CONDIÇÕES SANITÁRIAS E FÍSICO-QUÍMICAS DO LEITE CRU COMERCIALIZADO EM LAGOA SECA-PB

Deise Souza de Castro[1];
Danieli dos Santos Rodrigues[2];
Beatriz Ribeiro Fideliz da Silva[2];
Samara Lima Brito[3].

[1]Professora do Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais, da Universidade Estadual da Paraíba, Campus II, Lagoa Seca – PB.
[2]Aluna do curso técnico em Agroindústria da Escola Agrícola Assis Chateaubriand do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, da Universidade Estadual da Paraíba, Campus II, Lagoa Seca – PB.
[3]Tecnica de Laboratório do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, da Universidade Estadual da Paraíba, Campus II, Lagoa Seca – PB.
*E-mail para correspondência: deisesouzadecastro@gmail.com

Resumo gráfico



1 Introdução

O leite é um alimento popular, aceito em todas as faixas etárias humanas, em particular para crianças, para apoiar suas funções biológicas de crescimento. Contém componentes nutricionais importantes, como gordura, proteína, carboidratos, minerais e vitaminas, todos necessários para o crescimento e manutenção do corpo (Belay et

al., 2023). No Brasil, 5º maior produtor de leite, o leite desempenha além da função nutricional, papel cultural e econômico, contribuindo na geração de emprego e renda de agricultores familiares (Ulisses, et al 2023).

Segundo Oliveira et al. (2023), a maioria dos produtores de leite brasileiros são caracterizados como pequeno ou médio produtores onde trabalham no sistema familiar e comercializam o leite cru informal, no entanto a comercialização do leite cru para consumo não é permitida, segundo a IN 76/2018 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2018), uma vez que o leite possui na sua composição, o meio de cultura perfeito para o desenvolvimento de microrganismos e em caso de armazenamento inadequado compromete a saúde e segurança dos consumidores.

A comercialização informal de leite cru e leite cru refrigerado, ainda é frequente no Brasil, associada principalmente a questões culturais e de desinformação. Além disso, escândalos em decorrência de fraudes associados ao leite industrializado podem gerar insegurança no consumidor, associando indevidamente o leite informal como um leite puro e saudável, embora não passe por nenhum controle de qualidade ou por fiscalização (Costa et al. 2020).

Estudos realizados sobre a qualidade do leite cru comercializado informalmente em diversos municípios brasileiros (Jesus et al., 2021; Virole et al., 2022; Ströhe et al, 2023) alertam sobre a exposição do consumidor a contaminação por bactérias patogênicas, responsáveis pelas doenças transmitidas por alimentos – DTA's, que apresentam grande preocupação e problema de saúde pública no país.

A possibilidade de infecção correlacionada ao consumo de leite cru, comercializado diretamente do produtor para o consumidor, sem tratamento térmico prévio são evidentes e inquestionáveis, pois mesmo o leite oriundo de animais sadios, estão sujeitos a contaminação por microrganismos causadores de doenças (Fagnani e Zanon, 2019). Assim, este trabalho teve como objetivo verificar a qualidade higiênica e físico-química do leite cru, comercializado informalmente no município de Lagoa Seca- PB.

2 Metodologia

A pesquisa foi realizada durante os meses de agosto a outubro de 2023. Foi realizado um levantamento dos principais pontos de comercialização do leite cru na cidade de Lagoa Seca Paraíba, Brasil (7°08'48.9"S 35°51'13.8"W). Após o

rastreamento dos pontos de comercialização do leite, foram coletadas seis amostras (I, II, II, IV, V e VI) em diferentes pontos de comercialização.

Para avaliar as condições sanitárias dos locais de comercialização, foi elaborado um check-list (Quadro 1), alinhado às normas e regulamentações pertinentes. Questões relacionadas à higiene do local, procedimentos de armazenamento e manipulação adequada foram minuciosamente examinadas e respondidas com SIM ou NÃO, proporcionando uma visão holística da qualidade do leite disponível para os consumidores.

Quadro 1: Identificação das condições sanitárias dos locais de comercialização do leite cru.

1. Identificação		
Local: Propriedade rural ☐	Padaria ☐	Casa ☐
2. Condições do local de comercialização		

2.1 As instalações de venda são limpas e bem-organizadas?

_____

2.2 O leite comercializado é obtido de um único produtor?

_____

2.3 O leite fica armazenado em que tipo de recipiente? ( ) latão ( )tambor plástico ( ) garrafas ( ) outros_____

2.4 O leite cru é mantido em temperatura adequada (geralmente abaixo de 5°C)?

2.5 Existe um local específico para armazenamento do leite cru, protegido da luz solar direta e contaminantes?

2.6 O leite é comercializado até quantas horas após a ordenha? _____

2.7 O leite comercializado é armazenado em que tipo de embalagem? ( ) saco plástico ( ) garrafa PET ( ) vasilhame plástico ( ) outro _____

2.8 O recipiente que o leite é comercializado é fornecido pelo local de comercialização? _____

2.9 Os recipientes de leite cru são higienizados antes de serem enchidos?

_____

2.10 O leite é envasado na frente do consumidor?

_____

2.11 É fornecido aos clientes um meio de medir o leite cru antes de comprá-lo?

_____

As amostras coletadas foram encaminhadas ao laboratório de análise físico-química no complexo Agroindustrial da Escola Agrícola Assis, pertencente a Universidade Estadual da Paraíba, campus II, Lagoa Seca, submetidas às análises: densidade, alizarol, álcool, amido, teor de gordura, sólidos não gordurosos, proteína e adição de água.

A densidade foi mensurada com uso de termolactodesímetro, utilizando como referência os valores de 1,028 e 1,034 g/mL previstos pela Instrução Normativa nº 76 de 2018 (BRASIL, 2018) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). O teste de estabilidade ao alizarol, que avalia a resistência ou estabilidade térmica do leite para processamento, foi realizada na proporção de 1:1 com solução hidroalcóolica de álcool com concentração mínima de 72% de alizarina.

O teste de álcool foi realizado a partir da mistura de álcool 70% e leite, na mesma proporção, com a finalidade de observar a estabilidade ao aquecimento que a amostra de leite possuía. A pesquisa da presença de amido foi realizada pela adição de duas gotas de iodo às amostras de 10 ml de leite previamente aquecidas, verificando a presença da coloração azul em caso de amido presente.

Para a determinação da qualidade físico-química do leite cru refrigerado, foram realizadas análises por meio do equipamento Ekomilk (Figura 1), determinando por leitura direta o teor de gordura, sólidos não gordurosos, adição de água e teor de proteína.



Figura 1: Equipamento usado para analise físico-química da matéria prima.

Todas as análises foram realizadas em triplicada, com os resultados analisados por estatística descritiva, utilizando-se de medida de tendência central (média) e variabilidade de dados (desvio-padrão).

3 Resultados e discussão

Os resultados das condições sanitárias dos locais de comercialização do leite cru, avaliados por meio do check list estão apresentados na Tabela 1. Observa-se que todos os estabelecimentos comercializavam leite cru de um mesmo produtor, mantidos em um recipiente específico protegidos da luz solar direta e contaminantes, comercializados em recipientes descartáveis (garrafas e sacos plásticos) fornecidos pelo estabelecimento, e no estabelecimento I, as garrafas não eram higienizadas antes do envase para a venda, o que pode caracterizar uma potencial fonte de contaminação.

Tabela 01: Resultados do check list aplicado durante a coleta das amostras de leite.

Condições do local de comercialização	**Amostras**					
	I	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**
As instalações de venda são limpas e bem organizadas?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
O leite comercializado é obtido de um único produtor?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
O leite fica armazenado em que tipo de recipiente?	Garrafas	Tambor	Garrafas	Tambor	outros	Tambor
O leite cru é mantido em temperatura adequada (geralmente abaixo de 5°C)?	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Não
Existe um local específico para armazenamento do leite cru, protegido da luz solar direta e contaminantes?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
O leite é comercializado até quantas horas após a ordenha?	8 horas	3 horas	8 horas	12 horas	8 horas	12 horas
O leite comercializado é armazenado em que tipo de embalagem?	Garrafa	Saco plástico	Saco Plástico	Saco plástico	Saco plástico	Saco plástico
O recipiente que o leite é comercializado é fornecido pelo local de comercialização	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Os recipientes de leite cru são higienizados antes de serem enchidos?	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
O leite é envasado na frente do consumidor?	Não	Não	Não	Não	Não	Não
É fornecido aos clientes um meio de medir o leite cru antes de comprá-lo?	Não	Não	Não	Não	Não	Não

As instalações de venda onde foi coletada a amostra IV, não apresentava boas condições aparentes de higiene e organização, sendo observado no local presença de animais, piso com resíduos de outros alimentos e lixo aberto, além da utilização do mesmo guardanapos de tecido para secagem das mãos e limpeza do recipiente de retirada do leite, sem que existisse higienização ou troca, o que pode caracterizar um veículo de contaminação.

Santana et al. (2021) em seu estudo sobre a avaliação da qualidade do leite cru refrigerado de propriedades rurais do município de Ouro Preto do Oeste, Rondônia, relataram que o comprometimento da qualidade do leite se dá por vários fatores, dentre eles, as condições de higiene pela qual o leite é obtido e armazenado, afirmando que quanto mais limpo estiver o ambiente menor será a chance de microrganismos contaminarem o leite.

No local de coleta das amostras IV e VI, observou-se que o leite não era mantido em ambiente refrigerado, sendo nos dois pontos de coleta o leite cru comercializado por até 12 horas desde o horário de chegada no estabelecimento. Estas condições propiciam o desenvolvimento de microrganismos uma vez que as altas temperaturas, associado a longos períodos nestas condições podem resultar no talhamento do leite, além de descumprir uma determinação do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA. Segundo IN n° 55/ 2020 do MAPA (Brasil, 2020), é essencial que o leite após a ordenha seja imediatamente resfriado a 5°C para garantir sua qualidade e a dos produtos derivados.

O resultado das análises físico-químicas do leite, estão apresentados na Tabela 02. Observa-se que os valores de densidade de todas as amostras mantiveram-se entre o padrão de 1,028 a 1,034 recomendado pela IN 77/2018 MAPA (BRASIL, 20018), o que descarta a possibilidade de adulteração do leite cru pela adição de água, desnate ou desequilíbrio dos elementos lácteos.

Tabela 02: resultados das análises físico-químicas das amostras de leite cru.

Amostras	Densidade	Álcool	Amido	Alizarol
I	1,029 ± 0,001	aprovada	Aprovada	vermelho
II	1,032± 0,002	aprovada	Aprovada	vermelho
III	1,031± 0,001	aprovado	Aprovada	vermelho

IV	1,031± 0,001	aprovada	Aprovada	vermelho
V	1;030± 0,001	aprovada	Aprovada	vermelho
VI	1,029± 0,001	reprovada	Aprovada	amarelo

Ulisses et al. (2022) ao avaliarem a qualidade microbiológica, físico-química e detecção de resíduos de antibióticos em leite cru refrigerado, observaram que 88,88% das amostras analisadas encontravam-se dentro dos padrões, sendo coerentes com a variação de 1,028 a 1,034 g mL^{-1}, indicando a qualidade nutricional das amostras. Fernandes e Maricato (2010) ressaltaram que a ausência de fraude pela adição de água no leite cru indica qualidade adequada e uma maior conscientização dos produtores, que colaboram para atendimento aos critérios estabelecidos na legislação.

No teste de álcool, que indica a estabilidade das proteínas do leite ao aquecimento, a amostra VI foi reprovada a partir da formação de grumos quando o leite entra em contato com o álcool. Esta alteração no leite pode provocada pelo desenvolvimento de microrganismos, provenientes da falta de higiene, armazenamento inadequado ou problemas de saúde do animal, sendo as duas causas prováveis comprovadas no momento de coleta da amostra como apresentado na Tabela 01.

Todas as amostras tiveram seus resultados negativos para a presença de amido, indicando não haver fraude pela pratica de adição desse composto. Segundo Santana et al. (2021) o amido, devido principalmente ao baixo custo e a facilidade de execução, vem sendo utilizado na fraude do leite para aumentar o volume, o peso ou simplesmente para disfarçar a adição de água, pois promove um efeito espessante, mascarando o teste de densidade. Sousa et al. (2021) ao analisarem o leite cru comercializado no município de Ibirapuã – BA, também constataram ausência de amido em todas as amostras coletadas.

No teste de alizarol, para que o leite esteja em conformidade com a legislação, deve-se obter “coloração vermelha tijolo sem grumos ou com poucos grumos muito finos”. O teste de alizarol auxilia a detecção da acidez do leite, que naturalmente possui uma acidez normal que se dá pelos componentes presentes no leite, como albumina, citratos, fosfatos e caseína. A acidez adquirida se dá pela fermentação da

lactose do leite, causada pela ação de microrganismos tornando-o improprio para consumo (Sousa, et al., 2022).

A amostra IV apresentou coloração que foge do recomendado pela legislação, sendo a coloração amarela característica de leite com acidez elevada, associada a práticas inadequadas de manipulação, armazenamento ou saúde do rebanho. Comparando o resultado do alizarol da amostra IV com os resultados do check list aplicado no ato da coleta da amostra (Tabela 01) pode-se afirmar que as práticas de higiene precárias, condições inadequadas de temperatura e tempo excessivo da recepção até a venda podem ter contribuído para a baixa qualidade do leite comercializado.

Viroli et al (2022) ao analisar a acidez do leite cru envasados em garrafa PET comercializados em um município da região Norte do país, observaram que todas as amostras apresentaram acidez acima do recomendado pela legislação, associando tal fato a falhas na etapa de refrigeração, falta de higiene durante a obtenção, recipientes mal higienizados, ressaltando que a ausência de refrigeração favorece a predominância de microrganismos mesófilos que atuam intensamente na fermentação da lactose, produzindo ácido lático e assim acidificando o leite.

A Tabela 03 apresenta os resultados da caracterização das amostras de leite em ekomilk, na qual observa-se que as amostras não apresentaram percentual de adição de água nas amostras, confirmando a ausência de fraude por adição de água previamente constatada nos resultados da análise de densidade.

Tabela 03: resultados das análises físico-químicas emitidas por Ekomilk

Amostras	Adição de água	Proteína	Gordura	SNG
I	0	2,82 ± 0,01	2,83 ± 0,02	7,86 ± 0,02
II	0	3,15 ± 0,02	4,10 ± 0,02	8,75 ± 0,03
III	0	3,03 ± 0,02	3,29 ± 0,01	8,42 ± 0,01
IV	0	2,46 ± 0,02	2,63 ± 0,02	8,10 ± 0,02
V	0	3,04 ± 0,01	3,06 ± 0,01	7,17 ± 0,02

VI	0	3,76 ± 0,02	5,74 ± 0,01	10,38 ± 0,02

Os percentuais de proteína encontrados, variaram entre 2,46 a 3,76%. A IN 76/ 2018 (Brasil, 2018) preconiza que o leite para comercialização e consumo, deve apresentar percentual mínimo de 2,9% estando assim as amostras I e IV com níveis de proteína abaixo do mínimo recomendado. Alterações no teor de proteína do leite são normalmente associados a problemas de nutrição do animal, e embora não apresentem riscos diretos para a saúde dos consumidores, o consumo do leite com baixos percentuais de proteína implica em redução de nutrientes que seriam absorvidos após consumo do leite, e quando utilizados para produção de derivados impactam no baixo rendimento industrial por serem essenciais no processo de coagulação, além estar associado a indícios de fraude.

Silva et al. (2024) ao avaliarem a qualidade do leite in natura comercializado no município de Valença do Piauí observaram que uma das amostras de leite apresentou percentual de proteína abaixo do recomendado pela IN/76/2018 relatando que o teor de proteína influenciado pela variação das espécies e manejo do rebanho.

O percentual de gordura das amostras I e IV foram inferiores ao percentual mínimo de 3% preconizado pela IN 76/2018 (Brasil, 2018). Entre os componentes do leite, o percentual de gordura é o mais variável sendo influenciado por muitos fatores como raça, alimentação e estação do ano, idade, período de lactação, nutrição e estresse térmico. Valores abaixo do recomendado, podem indicar falhas na alimentação do animal, problemas de saúde do animal que resultam na diminuição da gordura, ou ainda pela prática de desnate ou adição de água no leite.

Barbosa et al. (2021) ressaltam que a gordura do leite é muito valiosa para as indústrias de lácteos, a qual remuneram melhor os produtores que conseguem produzir leite com elevados teores de gordura. Os autores relataram em sua pesquisa que os maiores teores de gordura do leite eram de produtores que produziam maiores volumes de leite (acima de 501 L/dia) assim, provavelmente produtores de maior volume possuem condições financeiras mais favoráveis para melhorar a genética do plantel e fornecer uma dieta mais equilibrada e nutritiva para o rebanho leiteiro.

As amostras I e V apresentaram resultados de sólidos não gordurosos (SNG) abaixo dos valores recomendados pela legislação, que determina um padrão mínimo de 8,4%. Os SNG correspondem a todos os componentes do leite, exceto água e

gordura, no qual estão inclusos carboidrato, vitaminas, proteínas e sais minerais. Baixos níveis de SNG impactam na diminuição do rendimento dos derivados lácteos, e a nível do consumo in natura correspondem a baixo valor nutricional, além de não atender ao preconizado por legislação.

Costa (2021) ao analisar incidência de fraudes, alterações e adulterações em leite cru refrigerado comercializado clandestinamente no norte do Tocantins amostras de leite cru, também encontraram valores de sólidos não gordurosos abaixo do recomendado pela legislação e associaram este problema a possível fraude por aguagem no leite.

4. Conclusão

As condições sanitárias de comercialização do leite cru de dois dos estabelecimentos representando 33,3% foram inadequadas quanto aos requisitos analisados, estando 66,7% dos locais de comercialização do leite cru, adequados as regras básicas de higiene e segurança sanitária, de acordo com o nível de conhecimento. Entre as amostras analisadas, quatro foram reprovadas nos testes físico-químicos, representando cerca 66,6% das amostras de leite coletadas do comércio de leite cru na cidade de Lagoa Seca – PB. É importante destacar a necessidade de capacitação contínua dos envolvidos na cadeia produtiva do leite, incluindo produtores, comerciantes e consumidores, sobre as boas práticas de higiene, armazenamento adequado e respeito às regulamentações sanitárias. Isso não apenas garante a qualidade do produto final, mas também contribui para a saúde pública e o desenvolvimento sustentável da agricultura familiar.

Referências

Belay, D.; Bikes, D. B.; Dagnachew,E. A.; Tsegaye, A. B.; Alem, G.; Zenawi, H. G (2023). Quality assessment of raw and pasteurized milk in Gondar city, Northwest Ethiopia: A laboratory-based cross-sectional study, V. 9, n. 3, p. e14202.

Ulisses, A. F.; Piccolo, M. P.; Rangel, O. J. P.; Santos Júnior, A. C.; Maia Júnior, J. A (2022). Leite cru refrigerado: qualidade microbiológica, físico-química e detecção de resíduos de antibióticos. *Research, Society and Development*, v, 11, n. 1, p. e48111123708-e48111123708.

Oliveira, F. P.; Sciênça, G. F. M.; Moraes, A. A.; Gonçalves, J. S.; dos Santos, P. H. M.; Santana, M. de L.; Orsine, J. V. C (2023). Análise fisico-química do leite cru

informal comercializado nas cidades de Orizona-GO e Pires do Rio-GO. Brazilian Journal of Health Review, v. 6, n. 1, p. 2494–2505.

Brasil. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.** Instrução Normativa nº 76, de 26 de novembro de 2018. Estabelece os requisitos de identidade e qualidade do leite cru refrigerado, coletado e transportado a granel. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 8, 30 nov. 2018.

Brasil. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.** Instrução Normativa nº 55, de 7 de outubro de 2020. Estabelece os requisitos para a produção, a identidade e a qualidade do leite cru refrigerado, do leite pasteurizado e do leite tipo A. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 4, 9 out. 2020. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura. Acesso em: 2 jan. 2025.

Costa, C. A. C. B., Santos, J. V. L. dos, Melo, Érica A. P. de, Freitas, A. J. D. de, Sousa, J. dos S., Freitas, J. M. D. de, & Freitas, J. D. de. (2020). Caracterização da qualidade microbiológica do leite cru comercializado informalmente na cidade de Murici, Alagoas. Brazilian Journal of Development, v. 6, n 2, p.7026–7035.

Costa, A. L. R. da. (2021) Incidência de fraudes, alterações e adulterações em leite cru refrigerado comercializado clandestinamente no Norte do Tocantins. 31 f. Monografia (Graduação) - Zootecnia, Universidade Federal do Norte do Tocantins, Araguaína.

Jesus, M. A. C. L.; Guimarães, J. E. F; Carneiro, E. A. R (2021). Perfil dos consumidores de leite cru na cidade de Serrinha, Bahia. Revista Instituto Laticínios Cândido Tostes, Juiz de Fora, v. 76, n. 1, p. 51-59, 2021.

Viroli, S. L. M. .; Rodrigues, F. M. .; Viroli, S. G. .; Carvalho, N. P. .; Duarte, H. A. .; Alves, T. T. .; Vivan, J. V.; Ramos, M. L. .; Feitosa, K. P.(2022) . Evaluation of physical, chemical and microbiological parameters of informal raw milk packaged in bottles - PET marketed in peripheral neighborhoods in a municipality in the northern region of Brazil .Research, Society and Development, v. 11, n. 3, p. e26011326706.

Ströher, J. A.; Caxambu, S.; Freitas, A. S.; Erhardt, M. M.Santos Junior. L. C. O. (2023) Avaliação socioeconômica e parâmetros de qualidade do leite cru refrigerado de pequenas propriedades leiteiras do Vale do Taquari, RS. Cadernos de Ciência & Tecnologia, v. 40, e27206.

Fagnani, R. E. J. I, Zanon, E. O. (2019) Milk borne infections awareness and the health status of consumers: An online survey International Dairy Journal, v. 6, p.85-92.

Santana, J. R.; Valiatti, T. B.; Sobral, F. O. S.; Romão, N. F. (2021). Avaliação da qualidade do leite cru refrigerado de propriedades rurais do município de Ouro Preto do Oeste, Rondônia. Revista Destaques Acadêmicos, v. 13, n. 3.

Sousa, C. S.; Souza, G. O. P.; Alcântara, T. M.; Fortuna, J. L. (2021) Análise microbiológica e físico-química de leite cru comercializado informalmente no município de Ibirapuã-BA. Revista Higiene Alimentar, v. 35, n. 293, p.1064.

Sousa, D. de C.; Zacarias, E. M. de M.; Oliveira, K. P. de; Lopes, E. R. N., Orsine, J. V. C. (2022). Análise físico-química de leite cru consumido na região de Orizona – Goiás: Physical-chemical analysis of raw milk consumed in the region of Orizona – Goiás. *Brazilian Journal of Development*, v.*8*, n.10, p. 696223–69630.

Silva, G. E.; C. da.; Carvalho, W. F.; Sousa, K. R. F.; Mendes, B. K. M.; Silva, M. M. da; Oliveira, F. L. L. de.; Lopes, M. N.; Cavalcante, T. V. (2024) Avaliação da qualidade do leite in natura comercializado no município de Valença do Piauí. ARACÊ, v. 6, n. 3, p. 10297–10309.

Barbosa, E. R.; Costa, E. S.; Bombonato, M, G. (2021) Avaliação da qualidade microbiológica e físico-química de leite cru em diferentes estações do ano na região de Rio Paranaíba, Carmo do Paranaíba e Arapuá, MG. Revista Perquirere, n. 18, p. 115-133.

Capítulo 12

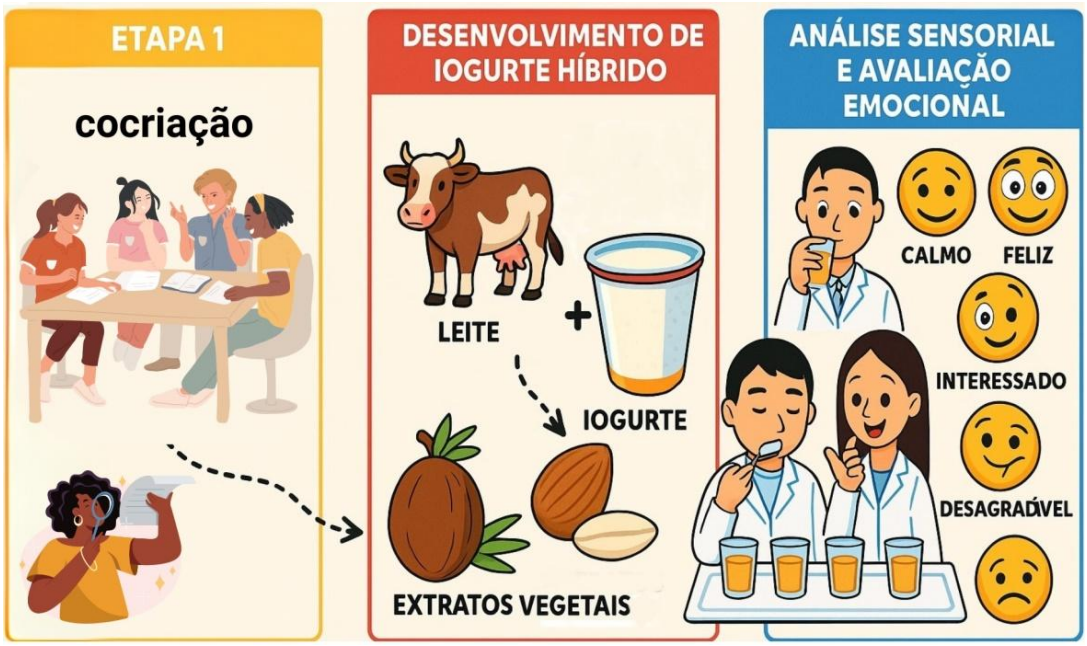
DOI: 10.53934/agronfy-2025-04-12

COCRIAÇÃO E VALIDAÇÃO DE PRODUTOS LÁCTEOS HÍBRIDOS: UMA ABORDAGEM SENSORIAL E EMOCIONAL COM CONSUMIDORES

Igor Souza de Brito[1];
Carolina Pinto de Carvalho Martins[1];
Rebeca Barcellos Elhabre de Mattos [1];
Mônica Marques Pagani[2];
Erick de Almeida Esmerino[1]

[1] Universidade Federal Fluminense - Faculdade de Veterinária/Depto. Tecnologia de Alimentos
[2] Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – Instituto de Tecnologia/Depto. Tecnologia de Alimentos
*E-mail para correspondência: igor_brito@id.uff.br / eaesmerino@id.uff.br

Resumo Gráfico



1. Introdução

A crescente preocupação com os impactos ambientais, éticos e nutricionais associados à produção e ao consumo de alimentos de origem animal tem impulsionado a busca por alternativas mais sustentáveis. A literatura evidencia que a produção de alimentos de base animal é responsável por elevadas emissões de gases

de efeito estufa, uso intensivo de recursos naturais e desafios em bem-estar animal, além de estar associada a riscos à saúde humana (Willett et al., 2019; Steinfeld et al., 2006; Aiking et al., 2006; Kumar et al., 2017). Nesse cenário, destaca-se a importância da transição proteica, promovendo o desenvolvimento de produtos que combinem ingredientes de origem vegetal com os tradicionais de origem animal, como estratégia de mitigação desses impactos e de promoção de padrões alimentares mais equilibrados e conscientes (Estell et al., 2021; He et al., 2020).

Entre essas alternativas, os produtos híbridos — que combinam leite de vaca com extratos vegetais, como os de coco e castanhas — têm ganhado atenção por oferecerem um equilíbrio entre familiaridade sensorial e atributos sustentáveis. Essa abordagem visa reduzir a resistência dos consumidores aos produtos 100% vegetais, frequentemente associados a desafios em textura, sabor e aceitação geral (Grasso; Goksen, 2023; Marlapati et al., 2024). Além disso, produtos híbridos têm o potencial de manter o perfil nutricional desejável e atender às expectativas sensoriais dos consumidores, especialmente quando formulados com ingredientes vegetais bem aceitos, como o coco, cuja textura e sabor favorecem sua integração em matrizes lácteas (Craig; Brothers, 2022).

Para garantir maior aceitação no mercado, torna-se essencial compreender as percepções, preferências e reações emocionais dos consumidores em relação a esses novos produtos. A técnica de cocriação desponta como uma abordagem eficaz nesse sentido, pois permite a participação ativa dos consumidores no desenvolvimento dos alimentos, resultando em produtos mais alinhados às suas expectativas (Ind; Coates, 2013; Vrgović et al., 2022). Essa metodologia colaborativa tem sido empregada com sucesso em diferentes segmentos da indústria alimentícia, contribuindo para o aprimoramento de atributos sensoriais e comunicacionais, além de fomentar o engajamento do público-alvo.

Adicionalmente, a compreensão da experiência sensorial deve considerar não apenas os atributos físico-químicos e hedônicos, mas também os aspectos emocionais suscitados durante o consumo. Métodos dinâmicos como a Dominância Temporal de Emoções (TDE) permitem avaliar as mudanças emocionais ao longo da degustação, oferecendo insights valiosos sobre o impacto afetivo dos alimentos (Jager et al., 2014; Mahieu et al., 2019). Essa abordagem é especialmente relevante no contexto dos produtos híbridos, cuja aceitação pode ser influenciada tanto por fatores

sensoriais quanto por valores pessoais relacionados à saúde, sustentabilidade e inovação (Tuorila; Hartmann, 2020).

Diante desse contexto, o presente capítulo teve como objetivo desenvolver e validar um protótipo de um produto híbrido à base de leite, combinando leite de vaca e extrato vegetal, por meio da técnica de cocriação com consumidores. A avaliação do produto prototipado foi realizada com base em medidas de aceitação sensorial e análise emocional via TDE, buscando compreender a interação entre expectativas prévias, resposta hedônica e emoções despertadas durante o consumo. Ao integrar abordagens participativas e metodologias sensoriais avançadas, esta pesquisa contribui para o avanço do conhecimento sobre o desenvolvimento centrado no consumidor de produtos alimentícios inovadores e sustentáveis.

2. Material e Métodos

2.1 Delineamento Experimental

O estudo foi conduzido em duas fases complementares. A primeira envolveu a cocriação de um produto híbrido lácteo com consumidores, enquanto a segunda fase consistiu na validação sensorial e emocional do produto desenvolvido. O foco foi a formulação de um iogurte híbrido, combinando leite de vaca com extrato vegetal, seguido por avaliação hedônica (teste de aceitação) e análise emocional por meio da técnica de Dominância Temporal de Emoções (TDE).

2.2 Fase I – Cocriação com Consumidores

A cocriação foi conduzida por meio de um questionário eletrônico aplicado entre julho e agosto de 2024, utilizando a plataforma Compusense Cloud® (Compusense Inc., Canadá). A amostragem utilizada foi não probabilística por conveniência, com efeito "bola de neve", totalizando n = 535 participantes. O recrutamento ocorreu via redes sociais (WhatsApp, Instagram, Facebook, Twitter, LinkedIn), QR Code e e-mails. A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética da Universidade Federal Fluminense (CAAE: 79138824.0.0000.8160).

O questionário foi estruturado em quatro seções: (i) dados sociodemográficos e hábitos de consumo; (ii) percepção e intenção de consumo de produtos híbridos; (iii) tarefas de cocriação; (iv) atitudes em relação à alimentação saudável e à sustentabilidade ambiental. A seção de cocriação envolveu a escolha da categoria de

produto preferida, seleção de ingredientes vegetais (ex. coco, castanha de caju, amêndoa) e definição das proporções ideais entre leite de vaca e extrato vegetal. Além disso, os participantes ranquearam os benefícios nutricionais desejáveis, como “alto teor de proteínas” e “rico em vitaminas e minerais”.

Com base nas preferências dos consumidores, foi desenvolvido um produto híbrido com extrato de coco em cinco formulações: 100M (100% leite), 75M25E (75% leite + 25% extrato vegetal), 50M50E, 25M75E, 100E (100% extrato vegetal).

2.3 Produção das Amostras de Iogurte Híbrido

O extrato vegetal foi preparado a partir de coco seco comercial (Monama®, SP, Brasil), na proporção de 1:3 (peso/volume) com água fervente, processado em liquidificador industrial (Fak, modelo LAR401) por 2 minutos e coado com tecido voile.

As formulações foram pasteurizadas a 90 °C por 3 minutos, resfriadas a 42 °C e inoculadas com cultura láctea comercial (YOFLEX®, Chr. Hansen, Brasil) na proporção de 50 U/250 L. A fermentação ocorreu a 42 °C até atingir pH 4,6. As amostras foram então resfriadas (4 °C) e armazenadas por 24h até a análise.

Cada formulação foi preparada em lote de 8 L. A composição nutricional das amostras (por 100 g), conforme metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008), variou entre 58,5 kcal (100M) e 11,5 kcal (100E), com reduções progressivas em proteínas, gorduras e carboidratos conforme o aumento do teor vegetal.

2.4 Fase II – Análise Sensorial e Avaliação Emocional

A validação sensorial ocorreu no Laboratório de Análise Sensorial da Universidade Federal Fluminense. Participaram n = 159 consumidores com idade entre 18 e 60 anos, recrutados por redes sociais e cartazes. Os critérios de inclusão foram: consumo regular de iogurtes (≥2 vezes/mês), ausência de alergia a leite ou coco e concordância com o TCLE.

As amostras (40 mL) foram servidas em copos codificados com três dígitos, em cabines individuais climatizadas, conforme norma ISO 6658 (2017). Os participantes receberam instruções prévias sobre a técnica TDE, e entre amostras, foi realizado enxágue bucal com água e biscoito cream cracker.

2.5 Técnica de Dominância Temporal de Emoções (TDE)

Os termos emocionais foram selecionados com base no léxico EsSense25 (Nestrud et al., 2016) e validados por meio de teste CATA (Check-All-That-Apply) com n = 250 consumidores. Os doze termos mais frequentes que compuseram a lista final da TDE foram: “interessado”, “satisfeito”, “agradavelmente surpreso”, “feliz”, “calmo”, “bem-humorado”, “confortável”, “seguro”, “moderado”, “bem”, “desagradavelmente surpreso” e “alegre”.

Durante o teste TDE, os participantes colocaram a amostra na boca, clicaram em "iniciar" (t = 0s) e selecionaram os termos dominantes ao longo de 25 segundos, sendo possível alterar os termos ao longo do tempo. Os dados foram registrados na plataforma Compusense Cloud®.

2.6 Teste de Aceitação

Logo após cada TDE, os participantes avaliaram a aceitação da amostra usando uma escala hedônica estruturada de 9 pontos (1 = “desgostei muitíssimo” a 9 = “gostei muitíssimo”). A ordem de apresentação das amostras foi randomizada segundo delineamento em blocos completos balanceados.

2.7 Análise de Dados

Os dados de frequência de marcação dos termos no CATA foram computados para cada emoção. Posteriormente, os 12 termos mais frequentemente selecionados foram escolhidos para compor a lista final utilizada na avaliação TDE. Essa limitação numérica atende à recomendação de Jaeger et al. (2014) e Pineau et al. (2012), que sugerem restringir a lista para evitar sobrecarga cognitiva dos avaliadores e garantir melhor poder discriminativo entre estímulos emocionais.

As curvas de dominância emocional foram geradas segundo Pineau et al. (2009). Dois limites de referência foram aplicados: nível de chance (1/n) e nível de significância ($p < 0,05$), calculado conforme número total de participantes e atributos avaliados, e as médias de aceitação foram analisadas por ANOVA e teste de Tukey ($p < 0,05$), conduzidas com XLSTAT (versão 2024.1).

3. Resultados e Discussão

3.1 Perfil Sociodemográfico dos Participantes

A amostra foi composta majoritariamente por indivíduos do sexo feminino (71,7%), com faixa etária predominante entre 18 e 25 anos (62,89%). A maior parte

dos participantes afirmou consumir laticínios com frequência diária (77,99%), enquanto os extratos vegetais foram classificados por 35,22% dos respondentes como de consumo “raro” e por 10,06% como “nunca consumidos”. Essa assimetria entre o consumo de lácteos e vegetais indica uma maior familiaridade com produtos tradicionais, sugerindo que experiências com produtos híbridos podem representar um desafio perceptivo e sensorial, sobretudo entre consumidores menos habituados aos ingredientes vegetais.

3.2 Cocriação do Produto Híbrido

A abordagem de cocriação adotada neste estudo representou uma estratégia centrada no consumidor, permitindo a identificação de preferências, percepções e expectativas de diferentes segmentos populacionais em relação ao desenvolvimento de um produto lácteo híbrido, no qual parte do leite de vaca foi substituída por extrato vegetal. A técnica aplicada incluiu uma amostra robusta (n = 535), recrutada por meio de plataformas digitais, e envolveu tarefas de ranqueamento, avaliação hedônica e preferências de formulação.

Ao ranquearem diferentes categorias de produtos lácteos como candidatos à formulação híbrida, os participantes demonstraram clara preferência por iogurtes e sorvetes, seguidos por sobremesas lácteas. Bebidas análogas ao leite e produtos líquidos figuraram entre os menos desejados. Esses achados indicam que o consumidor vê com maior aceitação a substituição parcial de leite em produtos com conotação indulgente ou funcional, como é o caso do iogurte – frequentemente associado à saúde digestiva e versatilidade (Tremblay; Panahi, 2017).

Dentre os ingredientes vegetais avaliados, o extrato de coco foi o mais aceito. A castanha-de-caju também se destacou positivamente. Por outro lado, a soja foi sistematicamente a menos aceita, possivelmente devido ao seu sabor residual, associação com transgênicos ou questões alérgicas já documentadas (Boeck et al., 2021; Marchese et al., 2024). Esses resultados estão alinhados com dados de mercado que apontam o coco como a base mais comum de iogurtes vegetais na Austrália e nos EUA (Craig; Brothers, 2022), o que reforça seu potencial como ingrediente funcional e sensorialmente atrativo para produtos híbridos.

Adicionalmente, observou-se uma divisão clara entre os participantes na escolha da proporção ideal entre leite e extrato vegetal. Enquanto parte dos

participantes demonstrou preferência por produtos com maior teor de leite (>75%), outros se mostraram mais propenso a aceitar reduções drásticas no teor de leite, optando por combinações com até 25% de leite. No entanto, entre ambos os grupos, a faixa de 25 a 50% de substituição foi amplamente aceita, indicando um ponto de equilíbrio entre inovação e familiaridade sensorial. Esses achados estão de acordo com estudos que indicam que substituições acima de 50% comprometem atributos tecnológicos e sensoriais importantes, como firmeza, cremosidade e retenção de água (Martinussi et al., 2024; Silva et al., 2024).

Em relação às alegações nutricionais, observou-se preferência por atributos qualificadores, como “alto teor de proteínas”, “rico em fibras” e “fortificado com vitaminas e minerais”. Alegações como “baixo teor de gordura” e “sem adição de açúcar”, foram menos valorizadas, sugerindo que os consumidores percebem maior valor em composições nutricionalmente ricas do que em restrições. Esse padrão já havia sido observado por Hoefkens et al. (2012) e Sajdakowska et al. (2021), que demonstraram que a presença de nutrientes benéficos exerce maior influência na aceitação do que a ausência de componentes negativos.

A partir dessas informações, definiu-se o iogurte híbrido com extrato de coco como protótipo ideal para a fase de validação sensorial. A escolha se baseou tanto na aceitação geral da categoria quanto na performance positiva do ingrediente vegetal durante a cocriação. A formulação das amostras seguiu uma lógica de gradação crescente de substituição do leite, o que possibilitou observar o limiar de aceitação e o impacto emocional das diferentes proporções durante a degustação, conforme validado na fase subsequente do estudo.

3.3 Validação Sensorial e Avaliação Emocional

3.3.1 Teste de Aceitação

O teste de aceitação, realizado com 159 participantes, indicou que as amostras com maior proporção de leite apresentaram as maiores médias hedônicas. A amostra controle (100M) obteve a maior média de aceitação (7,42), estatisticamente semelhante à amostra 75M25E (7,21), seguida por 50M50E (6,35). Por outro lado, as amostras com maior proporção de extrato vegetal, 25M75E (4,70) e 100E (3,71), tiveram aceitação significativamente inferior ($p < 0,05$), sugerindo que a substituição

parcial do leite por extratos vegetais é viável até um limite de 50%, sem comprometer a aceitação sensorial.

Tabela 1. Médias das amostras (Iogurte, iogurte extrato de coco e extrato de coco) submetidas ao teste de aceitação utilizando escala hedônica de 9 pontos.

Amostra	Média de aceitação
Iogurte (100M)	7,42[a]
75% iogurte + 25% extrato de coco (75M25E)	7,21[a]
50% iogurte + 50% extrato de coco (50M50E)	6,35[b]
75% iogurte + 25% extrato de coco (25M75E)	4,7[d]
Extrato de coco (100E)	3,71[d]

*Letras iguais na mesma coluna demostra diferença significativa (p>0,05% de significância), letras diferentes indicam diferença significativa (p<0,05% de significância).

3.3.2 Análise de Dominância Temporal de Emoções (TDE)

A técnica de Dominância Temporal de Emoções (TDE) foi empregada para avaliar, de forma dinâmica, as emoções evocadas pelos consumidores durante o consumo das amostras. As curvas de dominância permitem observar não apenas quais emoções estão associadas a cada amostra, mas também em que momento do consumo essas emoções se tornam mais predominantes.

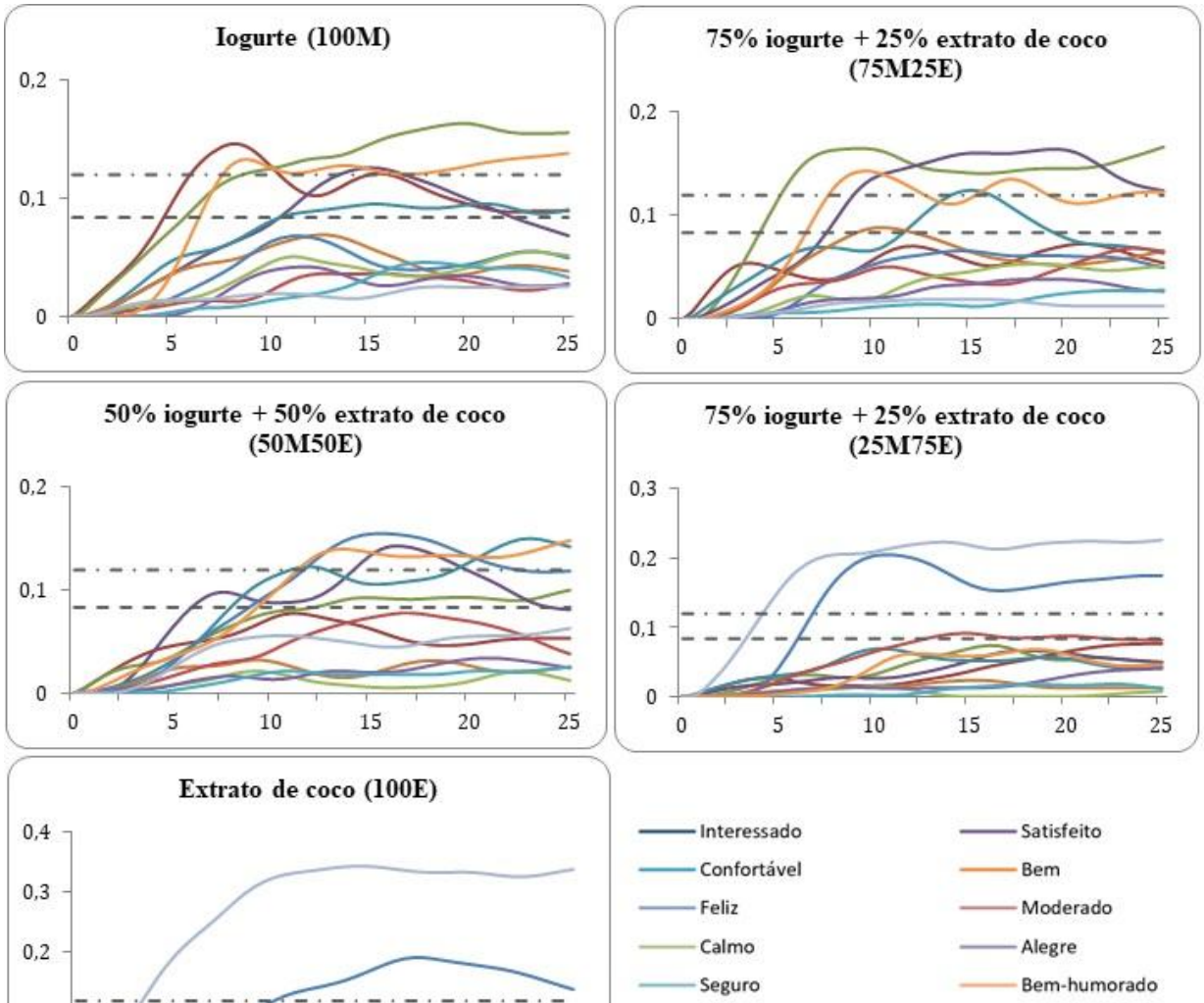
Conforme pode ser visto na Figura 1, para a amostra 100M (iogurte tradicional), destacaram-se emoções como “interessado” nos primeiros segundos (t= 5s), seguida por “alegre” e “agradavelmente surpreso” (t=10s), e “moderado”, que se manteve significativa ao longo de toda a avaliação (t=25s). Esses dados refletem uma experiência sensorial prazerosa e consistente com as expectativas prévias dos consumidores.

A amostra 75M25E, híbrida com menor proporção de extrato, apresentou predominância de emoções como “satisfeito” (t=5s), “confortável” (t=10s) e “bem-humorado” (t=15s), reforçando o potencial dessa formulação em gerar uma experiência emocional positiva e agradável, ainda muito próxima ao perfil do iogurte convencional.

Na amostra 50M50E, observou-se uma interessante combinação de emoções positivas, incluindo “feliz”, “confortável”, “seguro” e “bem”, com destaque para o pico de dominância dessas emoções entre os 10 e 20 segundos. A presença de emoções como “seguro” e “bem”, ausentes nas outras amostras, pode indicar que esta formulação se beneficiou de um equilíbrio sensorial adequado entre leite e extrato vegetal, despertando sensações de conforto e confiança no consumidor.

Em contrapartida, as amostras com maior teor de extrato vegetal (25M75E e 100E) foram associadas a respostas emocionais menos positivas. A opção “desagradavelmente surpreso” foi dominante já nos primeiros segundos (t=5s), seguida por “moderado” (t=10s), permanecendo até o final da avaliação. A presença de emoções com conotação negativa ou neutra sugere que essas formulações não atenderam às expectativas sensoriais dos consumidores, o que pode estar relacionado a características como sabor residual, menor cremosidade ou ausência de familiaridade com o ingrediente vegetal. Os resultados mostram que a avaliação emocional complementa a análise hedônica e oferece uma compreensão mais profunda da experiência do consumidor, sendo a TDE uma ferramenta útil para analisar a curva emocional de alimentos complexos como os híbridos.

Figura 1. Representação gráfica das curvas de TDE padronizadas para produtos lácteos híbridos e convencionais (iogurte 100% leite e 100% extrato vegetal) analisados (n = 159).



O padrão observado corrobora estudos prévios de Torrente et al. (2023) e Isac-Torrente et al. (2024), nos quais alimentos híbridos com maior familiaridade sensorial (sabores tradicionais, textura cremosa e ausência de “off-flavors”) evocaram emoções positivas e sustentadas ao longo do tempo de avaliação.

Além disso, o uso da TDE permitiu observar que a presença do extrato vegetal, quando em proporções elevadas, comprometeu a evocação de emoções positivas, possivelmente devido à menor familiaridade do público com tais ingredientes, como evidenciado nos dados de consumo — apenas 28,3% relataram consumir extratos vegetais diariamente, enquanto 10% nunca os haviam experimentado.

4. Considerações finais

O presente capítulo evidenciou o potencial da cocriação com consumidores como ferramenta estratégica no desenvolvimento de produtos híbridos à base de leite, permitindo a construção de um protótipo alinhado às preferências sensoriais e às expectativas emocionais dos usuários. A combinação entre leite de vaca e extrato vegetal de coco mostrou-se promissora na formulação de um iogurte funcionalmente inovador e sensorialmente aceitável, especialmente nas proporções intermediárias (75% leite:25% extrato; 50%:50%).

As análises sensoriais e emocionais, conduzidas por meio da técnica de Dominância Temporal de Emoções (TDE), confirmaram que produtos com maior teor de leite apresentaram maior aceitação hedônica e foram associados a emoções positivas como “feliz”, “satisfeito” e “agradavelmente surpreso”. Em contraste, formulações com maior proporção de extrato vegetal foram menos apreciadas, evocando emoções negativas como “moderado” e “desagradavelmente surpreso”, o que indica que o consumo eventual de extratos vegetais pode influenciar negativamente a experiência sensorial, sobretudo entre consumidores com menor familiaridade com tais ingredientes.

A integração entre métodos colaborativos, como a cocriação, e análises sensoriais tradicionais demonstrou-se eficaz na identificação de insights afetivos e preferências de consumo, contribuindo para o aprimoramento de produtos que conciliem funcionalidade, sustentabilidade e aceitação pelo público-alvo. Os achados reforçam a viabilidade de utilizar ingredientes vegetais como complementos em produtos lácteos, desde que respeitado o equilíbrio sensorial, e apontam para a

importância de abordagens colaborativas e centradas no consumidor no contexto da inovação alimentar.

5. Referências

Aiking, H., De Boer, J., & Vereijken, J. (2006). *Sustainable protein production and consumption: Pigs or peas?* Springer.

Boeck, H., Sahin, A. W., & Jarpa-Parra, M. (2021). Plant-based yogurts: State-of-the-art and future perspectives. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *62*(10), 2684–2702. https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1853549

Brothers, S. (2022). Consumer trends and future demand for plant-based dairy alternatives. *Journal of Food Products Marketing*, *28*(3), 293–305. https://doi.org/10.1080/10454446.2022.2039741

Coates, E. (2013). Co-creation in food innovation: The role of consumers. *Journal of Marketing and Consumer Research*, *5*, 12–18.

Craig, W. J., & Brothers, C. J. (2022). Plant-based dairy alternatives: Position of the American Dietetic Association. *Journal of the American Dietetic Association*, *122*(2), 265–275. https://doi.org/10.1016/j.jada.2021.09.001

Estell, M., Hughes, J., Grafenauer, S., & Boyce, R. (2021). Protein and sustainability: A review of plant-based alternatives. *Nutrients*, *13*(12), 4280. https://doi.org/10.3390/nu13124280

Grasso, S., & Goksen, G. (2023). Consumer acceptance of hybrid meat products: A review. *Trends in Food Science & Technology*, *132*, 123–134. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.02.015

Hartmann, C., & Siegrist, M. (2020). Our daily meat: Justification, moral evaluation and willingness to substitute. *Food Quality and Preference*, *80*, 103799. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.103799

He, J., Evans, N. M., Liu, H., & Shao, S. (2020). A review of research on plant-based meat alternatives: Driving forces, history, manufacturing, and consumer attitudes. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *19*(5), 2639–2656. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12610

Ind, N., & Coates, N. (2013). The meanings of co-creation. *European Business Review*, *25*(1), 86–95. https://doi.org/10.1108/09555341311287754

Jager, G., de Graaf, C., & Boesveldt, S. (2014). Temporal dominance of sensations and emotions: Measuring dynamics of food perception. *Food Quality and Preference*, *34*, 164–170. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.01.002

Kumar, P., Chatli, M. K., Mehta, N., Singh, P., Malav, O. P., & Verma, A. K. (2017). Meat analogues: Health promising sustainable meat substitutes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *57*(5), 923–932. https://doi.org/10.1080/10408398.2014.939739

Mahieu, B., Gonthier, C., Simler, R., & Thomas, A. (2019). Using Temporal Dominance of Emotions (TDE) to investigate consumers' emotional responses to food. *Food Quality and Preference*, *77*, 134–144. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.05.001

Marchese, L., Livingstone, K. M., Woods, J., & McNaughton, S. A. (2024). Trends in plant-based yogurt formulations in the Australian market: A cross-sectional analysis. *Journal of Food Composition and Analysis*, *119*, 105314. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105314

Marlapati, R. P., Misra, N. N., & Priya, R. (2024). Development of hybrid dairy products: Sensory and functional properties. *Dairy Science & Technology*, *104*(1), 43–58. https://doi.org/10.1016/j.dst.2024.01.004

Martinussi, G., Lemos, A. L. M., & Penna, A. L. B. (2024). Technological, sensory and nutritional implications of partial milk substitution in fermented dairy products. *Food Research International*, *175*, 113205. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.113205

Nestrud, M. A., & Lawless, H. T. (2016). Perceptual mapping of emotion terms for application to food. *Food Quality and Preference*, *54*, 64–71. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.06.008

Pineau, N., Schlich, P., Cordelle, S., Mathonnière, C., Issanchou, S., Imbert, A., & Köster, E. (2009). Temporal dominance of sensations: Construction of TDS curves and comparison with time–intensity. *Food Quality and Preference*, *20*(6), 450–455. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2009.04.005

Sajdakowska, M., Tekień, A., Jeżewska-Zychowicz, M., & Gutkowska, K. (2021). Dairy product selection: The role of health-related and sensory claims. *Nutrients*, *13*(9), 3031. https://doi.org/10.3390/nu13093031

Silva, H. L. A., Balthazar, C. F., Esmerino, E. A., Rocha, R. S., Moraes, J., Carmo, M. A. V., ... & Cruz, A. G. (2024). Impact of plant protein substitution on the quality of hybrid yogurts. *Journal of Dairy Science*, *107*(1), 122–135. https://doi.org/10.3168/jds.2023-22850

Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., & de Haan, C. (2006). *Livestock's long shadow: Environmental issues and options*. FAO.

Tremblay, A., & Panahi, S. (2017). Yogurt consumption as a signature of a healthy diet and lifestyle. *Journal of Nutrition*, *147*(7), 1463S–1470S. https://doi.org/10.3945/jn.117.252171

Tuorila, H., & Hartmann, C. (2020). Consumer responses to novel and unfamiliar foods. *Current Opinion in Food Science*, *33*, 1–8. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.09.004

Vrgović, P., Tekić, J., & Vidicki, Đ. (2022). Co-creation in the food sector: A review of applications and implications. *Trends in Food Science & Technology*, *123*, 1–13. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.02.007

Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., ... & Murray, C. J. L. (2019). Food in the Anthropocene: The EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet*, *393*(10170), 447–492. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4

Capítulo 13

DOI: 10.53934/agronfy-2025-04-13

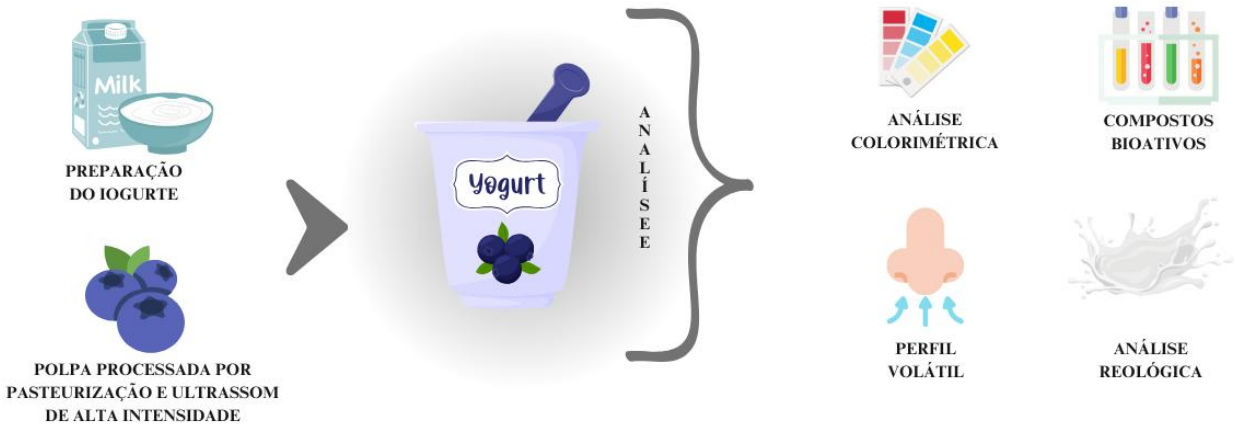
ULTRASSONICAÇÃO DA POLPA DE MIRTILO E SEUS IMPACTOS SOBRE OS PARÂMETROS DE QUALIDADE DE IOGURTE TIPO SKYR

Júlia Barros de Sousa[1];
Carolina Pinto de Carvalho Martins[1];
Mônica Marques Pagani[2];
Erick Almeida Esmerino[1];

[1] Universidade Federal Fluminense - Faculdade de Veterinária/Depto. Tecnologia de Alimentos
[2] Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – Instituto de Tecnologia/Depto. Tecnologia de Alimentos

*E-mail para correspondência: juliasousa@id.uff.br / eaesmerino@id.uff.br

Resumo Gráfico



1. Introdução

O leite está entre as principais commodities agrícolas globais, sendo essencial tanto em termos econômicos quanto nutricionais. No Brasil, a indústria de laticínios representa o segundo maior segmento do setor alimentício, com relevante impacto na segurança alimentar e no desenvolvimento econômico (Embrapa, 2019). Em resposta à crescente demanda por alimentos funcionais e saudáveis, observa-se uma expansão no mercado de produtos lácteos diferenciados, como os iogurtes, que aliam

valor nutricional, versatilidade sensorial e conveniência (Leite et al., 2018; Torrico et al., 2020; Garofalo et al., 2024).

Dentre os derivados fermentados, destaca-se o iogurte do tipo skyr, caracterizado por alto teor proteico, baixo teor de gordura e textura cremosa, atendendo ao perfil de consumo por alimentos indulgentes e saudáveis (Kubala, 2024). A adição de frutas a esses produtos confere não apenas incremento nutricional, mas também melhora a atratividade sensorial. Nesse contexto, o mirtilo (*Vaccinium myrtillus*) se sobressai como fonte de compostos bioativos, especialmente antocianinas, associadas a propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e cardioprotetoras (Mattioli et al., 2020).

Entretanto, o processamento convencional das frutas, como a pasteurização térmica, pode comprometer a integridade sensorial e funcional dos compostos bioativos. Tecnologias emergentes, como o ultrassom de alta intensidade (UAI), têm sido exploradas como alternativas não térmicas para preservar e potencializar as propriedades nutricionais, com vantagens adicionais de eficiência energética e sustentabilidade (Gallo; Ferrara e Naviglio, 2018; Kumar et al., 2021; Zhu et al., 2021).

Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar os efeitos da adição de polpa de mirtilo processada por UAI na qualidade do iogurte concentrado tipo skyr, com ênfase em parâmetros de cor, atividade antioxidante, propriedades reológicas e perfil volátil. A proposta visa contribuir para o desenvolvimento de produtos lácteos funcionais inovadores, alinhados às exigências tecnológicas e ao perfil contemporâneo de consumo, além de explorar o potencial do UAI como tecnologia promissora no processamento de alimentos.

2. Metodologia

Este estudo foi conduzido nos laboratórios de controle físico-químico da Faculdade de Veterinária da Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói–RJ.

2.1 Processamento do iogurte concentrado adicionado de polpa de mirtilo

O iogurte tipo Skyr foi elaborado conforme diretrizes do Dossiê Técnico de Fabricação de Iogurtes (2021) e métodos descritos por Zják et al. (2020), García e Fernández-García (2024) e Li, Ye e Singh (2021), com adaptações. Utilizou-se leite UHT desnatado (97% p/p), leite em pó desnatado (3% p/p) e cultura bacteriana

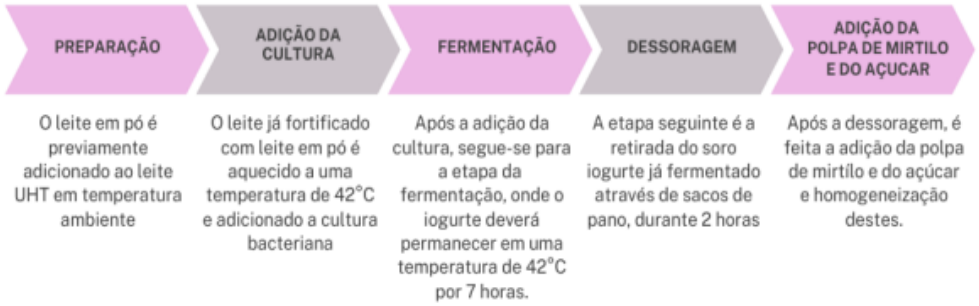
termofílica YoFlex L812 (0,005% p/p). A fermentação foi seguida por dessoragem em sacos de pano (Al-Kadaman et al., 2002).

A polpa foi preparada com mirtilos congelados (Swift, Brasil), triturados e submetidos aos seguintes tratamentos: controle (sem processamento), pasteurização (85 °C/3 min), e ultrassom de alta intensidade (160W, 320W, 480W e 640W por 3 min; Ultronique), conforme Martins et al. (2019). Após o tratamento, a polpa (8% p/p) e açúcar (8% p/p) foram adicionados ao iogurte. As amostras foram armazenadas a 4 °C por até 21 dias. As etapas de elaboração do iogurte estão detalhadas na Figura 1.

2.2 Análise colorimétrica

A cor foi determinada nos dias 1, 7, 14 e 21 de armazenamento, usando colorímetro portátil (Chroma Meter CR-410, Konica Minolta), calibrado com iluminante D65 e ângulo de 10°, conforme De Campo et al. (2019), no sistema CIELAB.

Figura 1. Etapas de produção do iogurte concentrado adicionado de mirtilo.



2.3 Compostos bioativos

Foram analisados os conteúdos de fenólicos totais, antocianinas e a atividade antioxidante por DPPH (Capacidade de sequestro de radicais livres). Extratos metanólicos/acetônicos foram obtidos conforme Swain e Hillis (1959), Martins et al. (2018) e Bontzolis et al. (2024), com adaptações. A análise de DPPH seguiu Martins et al. (2018) e Bontzolis et al. (2024), medindo-se a absorbância a 517 nm após reação com DPPH 0,06 mM. Fenólicos totais foram quantificados com reagente de Folin-Ciocalteu (1:10) e Na_2CO_3 a 10%, com leitura a 725 nm, expressos em mg GAE/100g. A quantificação de antocianinas seguiu o método do pH diferencial (Klopotek et al., 2005; de Araújo et al., 2021)), com leituras a 510 e 700 nm.

2.4 Análise reológica

A reologia foi avaliada 24 h após a produção, a 25 ± 1 °C, em viscosímetro rotacional (Brookfield DV-II, fuso LV-4). Foram calculadas a taxa e a tensão de cisalhamento e a viscosidade, aplicando as equações da Lei de Potência (Ostwald-de Waele), conforme Morais et al. (2023), com adaptações.

2.5 Análise de perfil volátil com nariz eletrônico (E-Nose)

A análise foi realizada em GC rápido Heracles II (Alpha MOS), conforme Lorenzo et al. (2022) e Kovacs et al. (2020). Amostras (2 g) foram incubadas a 50 °C por 10 min, e o headspace foi injetado. Compostos foram identificados por índices de Kovats e pela biblioteca AroChemBase. Compostos com área de pico ≥100 foram considerados para análise geral, e ≥500 para PCA.

2.6 Análise de dados

Os dados foram submetidos à ANOVA e ao teste de Tukey ($p < 0,05$) para comparação de médias, avaliando diferenças significativas entre os tratamentos.

3. Resultados e Discussões

3.1 Análise colorimétrica

Como pode ser observado na Tabela 1, a luminosidade (L*) aumentou durante o armazenamento, especialmente nos tratamentos com 480W e 640W, refletindo possível conversão de antocianinas em chalconas incolores (Ścibisz et al., 2012). Inicialmente, pasteurização e ultrassom em baixas potências (160W e 320W) mantiveram estabilidade luminosa ($p > 0,05$), enquanto o controle apresentou maior variação. Valores de a* indicaram coloração avermelhada em todas as amostras, correlacionando-se com o teor de antocianinas monoméricas.

O tratamento 640W apresentou maior intensidade vermelha (a* = 6,807) e maior teor de antocianinas (23,864 mg/L), demonstrando estabilidade superior. Os valores de b* indicaram tendência amarelada crescente durante o armazenamento, principalmente em 480W e 640W, possivelmente pela degradação de antocianinas (Sarkis, 2011). Assim, o tipo de processamento influenciou os parâmetros cromáticos nas fases iniciais, enquanto o tempo de estocagem determinou a estabilização da cor.

3.2 Compostos bioativos

Na polpa de mirtilo, a pasteurização promoveu maior capacidade antioxidante (82,836%) e conteúdo de fenólicos totais (3,458 mg GAE/100g), superando o ultrassom ($p < 0,05$) (Tabela 2). O ultrassom em 160W apresentou resultado intermediário, enquanto potências mais altas (320–640W) mostraram decréscimo de eficácia, provavelmente devido à degradação de compostos antioxidantes (Bermúdez-Aguirre & Barbosa-Cánovas, 2011). Contudo, o tratamento 640W preservou melhor as antocianinas monoméricas, com a menor redução percentual (3,735%), corroborando achados de Tiwari et al. (2009).

Tabela 1- Atributos de cor do iogurte concentrado tipo skyr adicionado de polpa de mirtilo (*Vaccinium Myrtillus*) processada por ultrassom de alta intensidade de acordo com o tipo de processamento durante o período de armazenamento.

Tratamentos	D0	D7	D14	D21
Controle	L*: 80,680 ± 0,0^{abA}	L*: 81,380 ± 0,0^{aB}	L*: 85,250 ± 0,0^{aD}	L*: 85,100 ± 0,0^{aC}
	a*: 5,700 ± 0,0^{bC}	a*: 4,140 ± 0,0^{abA}	a*: 4,310 ± 0,0^{bcB}	a*: 4,290 ± 0,0^{bcB}
	b*: 3,300 ± 0,0^{abcB}	b*: 1,230 ± 0,0^{aA}	b*: 6,320 ± 0,0^{bC}	b*: 6,350 ± 0,0^{bC}
Pasteurizado	L*: 83,397 ± 0,61^{bA}	L*: 82,193 ± 1,46^{aA}	L*: 81,827 ± 2,52^{aA}	L*: 81,877 ± 2,50^{aA}
	a*: 5,117 ± 0,16^{abB}	a*: 3,637 ± 0,16^{cA}	a*: 4,553 ± 0,36^{cB}	a*: 4,563 ± 0,36^{abB}
	b*: 2,620 ± 0,62^{abA}	b*: 1,373 ± 0,86^{aA}	b*: 6,060 ± 0,14^{bB}	b*: 6,033 ± 0,18^{bB}
160W	L*: 79,477 ± 2,05^{abA}	L*: 80,647 ± 2,52^{aA}	L*: 81,517 ± 2,06^{aA}	L*: 81,523 ± 1,99^{aA}
	a*: 5,007 ± 0,38^{abA}	a*: 4,293 ± 0,38^{bA}	a*: 4,530 ± 0,59^{cA}	a*: 4,540 ± 0,59^{cA}
	b*: 2,027 ± 1,28^{aA}	b*: 0,980 ± 0,43^{aA}	b*: 6,387 ± 0,53^{bB}	b*: 6,377 ± 0,52^{bB}
320W	L*: 80,960 ± 2,23^{abA}	L*: 82,707 ± 2,69^{aA}	L*: 82,950 ± 2,78^{aA}	L*: 82,950 ± 2,83^{aA}
	a*: 4,193 ± 1,01^{aA}	a*: 3,397 ± 0,36^{aA}	a*: 3,520 ± 0,13^{abA}	a*: 3,533 ± 0,16^{abA}
	b*: 3,493 ± 2,63^{abcA}	b*: 1,627 ± 0,49^{aA}	b*: 5,057 ± 1,49^{bA}	b*: 5,033 ± 1,50^{bA}
480W	L*: 76,683 ± 1,98^{aA}	L*: 81,650 ± 2,29^{aB}	L*: 82,837 ± 1,01^{aB}	L*: 82,860 ± 0,98^{aB}
	a*: 5,933 ± 0,63^{bB}	a*: 3,900 ± 0,38^{abA}	a*: 4,037 ± 0,51^{abcA}	a*: 4,060 ± 0,52^{abcA}
	b*: 5,967 ± 1,31^{bcB}	b*: 1,230 ± 0,88^{aA}	b*: 4,503 ± 1,04^{abB}	b*: 4,510 ± 1,03^{abB}
640W	L*: 77,280 ± 3,45^{aA}	L*: 81,430 ±0,92^{aAB}	L*: 83,727 ± 0,75^{aB}	L*: 83,683 ± 0,75^{aB}
	a*: 6,270 ± 0,27^{bB}	a*: 3,563 ± 0,40^{abA}	a*: 3,217 ± 0,17^{aA}	a*: 3,240 ± 0,17^{aA}
	b*: 6,807 ± 0,86^{cC}	b*: 0,253 ± 0,15^{aA}	b*: 2,450 ± 0,37^{aB}	b*: 2,457 ± 0,36^{aB}

* Os resultados foram expressos como média ± desvio padrão. Letras diferentes (a-d) na mesma coluna indicam diferença pelo teste de Tukey ($p < 0.05$) para o processamento. Letras diferentes (A-D) na mesma linha indicam diferença pelo teste de *Tukey* ($p < 0.05$) em função dos dias. (L*) luminosidade, (a*) escala entre as cores vermelho (+a) e verde (-a), (b*) escala entre as cores amarelo (+b) e azul (-b).

Tabela 2 - Compostos bioativos da polpa de mirtilo (*Vaccinium myrtillus*) processada por pasteurização e ultrassom de alta intensidade.

Tratamentos	% Redução DPPH	Fenólicos Totais (mg GAE/ 100g)	Antocianinas Totais (mg/L)	Antocianinas Monoméricas (mg/L)
Controle	46,171 ± 0,57^{d}	1,820 ± 0,2167^{b}	27,073 ± 0,614^{d}	16,508 ± 0,753^{c}
Pasteurizado	82,836 ± 0,42^{a}	3,458 ± 0,0815^{a}	197,881 ± 4,168^{a}	182,774 ± 16,328^{a}
160W	54,789 ± 2,26^{b}	1,933 ± 0,0807^{b}	41,457 ± 2,914^{c}	31,962 ± 5,699^{bc}
320W	50,207 ± 0,32^{c}	1,627 ± 0,0817^{b}	53,081 ± 0,888^{b}	44,331 ± 5,36^{b}
480W	49,810 ± 0,87^{c}	1,721 ± 0,245^{b}	52,528 ± 0,793^{b}	39,672 ± 8,842^{bc}
640W	50,713 ± 1,14^{c}	1,862 ± 0,000^{b}	56,980 ± 2,169^{b}	54,852 ± 2,688^{b}

* Os resultados foram expressos como média ± desvio padrão. Letras diferentes (a-c) na mesma coluna indicam diferença pelo teste de Tukey ($p < 0.05$).

No iogurte, a adição da polpa resultou em aumento médio de 129% na atividade antioxidante e 15,48% em fenólicos totais, em comparação ao iogurte puro. A pasteurização manteve maior teor de fenólicos (0,939 mg GAE/100g), enquanto o tratamento 640W apresentou maior retenção de antocianinas bioativas (32,630 mg/L totais; 23,864 mg/L monoméricas) (Tabela 3). A baixa detecção de compostos bioativos em alguns tratamentos pode ser atribuída à formação de complexos proteína-polifenol (Liu et al., 2018; Şengül et al., 2022; Ścibisz & Ziarno, 2023).

Tabela 3 - Compostos bioativos da do iogurte tipo skyr adicionado polpa de mirtilo (*Vaccinium myrtillus*) processada por pasteurização e ultrassom de alta intensidade.

Tratamentos	% Redução DPPH	Fenólicos Totais (mg GAE/ 100g)	Antocianinas Totais (mg/L)	Antocianinas Monoméricas (mg/L)
Controle	7,188 ± 0,31[a]	0,768 ± 0,0105[b]	21,281 ± 0,404[c]	3,581 ± 0,1 55 b
Pasteurizado	6,338 ± 0,83[a]	0,939 ± 0,0637[a]	28,977 ± 0,046[b]	2,150 ± 0,098 b
160W	4,517 ± 1,36[ab]	0,766 ± 0,0559[b]	27,867 ± 0,551[b]	0,945 ± 0,029 b
320W	6,319 ± 2,56[a]	0,756 ± 0,0106[b]	30,908 ± 0,473[ab]	3,303 ± 0,388b
480W	5,572 ± 0,87[ab]	0,741 ± 0,0317[b]	30,545 ± 2,131[ab]	0,073 ± 0,006b
640W	5,696 ± 1,24[ab]	0,701 ± 0,0380[bc]	32,630 ± 1,739[a]	23,864 ± 5,747a
Iogurte Puro	2,625 ± 0,68[b]	0,659 ± 0,0183[c]		

* Os resultados foram expressos como média ± desvio padrão. Letras diferentes (a-c) na mesma coluna indicam diferença pelo teste de Tukey ($p < 0.05$).

3.3 Análise Reológica

Os tratamentos aplicados influenciaram significativamente as propriedades reológicas do iogurte concentrado tipo skyr. A viscosidade aparente foi maior nas amostras tratadas com ultrassom a 320W (959,0 ± 79,0 mPa·s) e 480W (1152,0 ± 91,0 mPa·s), valores significativamente superiores aos do controle e demais tratamentos ($p < 0,05$). Esse comportamento pode ser atribuído à ação mecânica da cavitação acústica promovida pelo ultrassom, que pode modificar a microestrutura do gel proteico e favorecer a liberação de pectina da polpa, aumentando a viscosidade (Afzal et al., 2018; Frank, Höhme & Kleinschmidt, 2023).

Por outro lado, o tratamento com ultrassom em 640W apresentou a menor viscosidade (705,0 ± 98,0 mPa·s), inferior inclusive ao controle (831,0 ± 72,0 mPa·s), indicando que a potência elevada pode ter promovido degradação da rede coloidal e rompimento excessivo de estruturas polissacarídicas, comprometendo a integridade do sistema (Abdi et al., 2017). O índice de consistência (k), compatível com a tendência observada na viscosidade, foi mais elevado nos tratamentos 320W e 480W, enquanto o valor mais baixo foi registrado em 640W, corroborando a perda estrutural nessas condições, conforme evidenciado na Tabela 4.

Todas as formulações apresentaram comportamento pseudoplástico, caracterizado por índice de fluxo (n) inferior a 1, típico de produtos fermentados de alta viscosidade como iogurtes (Şengül et al., 2022). Essa característica favorece a aceitação sensorial, por conferir textura cremosa e agradável, além de facilitar a aplicação industrial do produto em diferentes apresentações.

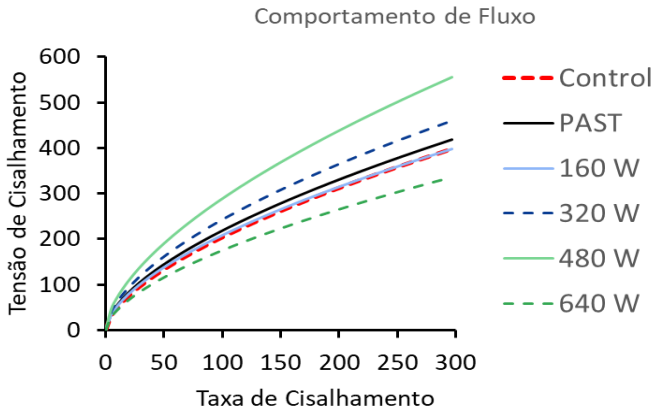
Tabela 4 - Reologia do iogurte concentrado tipo skyr adicionado de polpa de mirtilo (*Vaccinium myrtillus*) processada por ultrassom de alta intensidade.

Tratamentos	**Viscosidade 40 s-1 (mPa.s)**	**k (mPa.s)**	**n (-)**	**E (%)**
Controle	831,0 ± 72,0^{bc}	12,0 ± 1,0^{bc}	0,61 ± 0,01^{a}	2,0 ± 0,2
Pasteurizado	872,0 ± 25,0^{bc}	14,0 ± 1,0^{b}	0,60 ± 0,01^{a}	3,0 ± 1,0
160 W	819,0 ± 49,0^{bc}	13,6 ± 0,3^{b}	0,59 ± 0,01 ^{a}	3,0 ± 1,0
320 W	959,0 ± 79,0^{ab}	16,0 ± 1,0^{a}	0,59 ± 0,01 ^{a}	2,8 ± 0,4
480 W	1152,0 ± 91,0^{a}	18,2 ± 0,4^{a}	0,61 ± 0,02 ^{a}	3,0 ± 1,0
640 W	705,0 ± 98,0^{c}	11,0 ± 1,0^{c}	0,60 ± 0,01 ^{a}	2,0 ± 1,0

* Os resultados foram expressos como média ± desvio padrão. Letras diferentes (a-c) na mesma coluna indicam diferença pelo teste de Tukey ($p < 0.05$).

A pseudoplasticidade indica que a viscosidade diminui com o aumento da taxa de cisalhamento (Figura 2), um fenômeno comum em produtos alimentares como iogurtes e emulsões (Abdi et al., 2017). A análise integrada da viscosidade com os dados de sinérese e umidade (dados não mostrados) sugere que potências intermediárias de ultrassom (320W e 480W) promoveram maior retenção de água, aumentando a consistência e estabilidade do produto. Já em 640W, embora a sinérese tenha sido reduzida, a diminuição da viscosidade indica que o equilíbrio entre liberação de pectina e integridade da matriz foi ultrapassado, resultando em produto menos estruturado.

Figura 2. Gráfico do comportamento de fluxo do iogurte concentrado tipo skyr adicionado de polpa de mirtilo (*Vaccinium myrtillus*) processada por ultrassom de alta intensidade.



3.4 Análise de perfil volátil com nariz eletrônico (E-Nose)

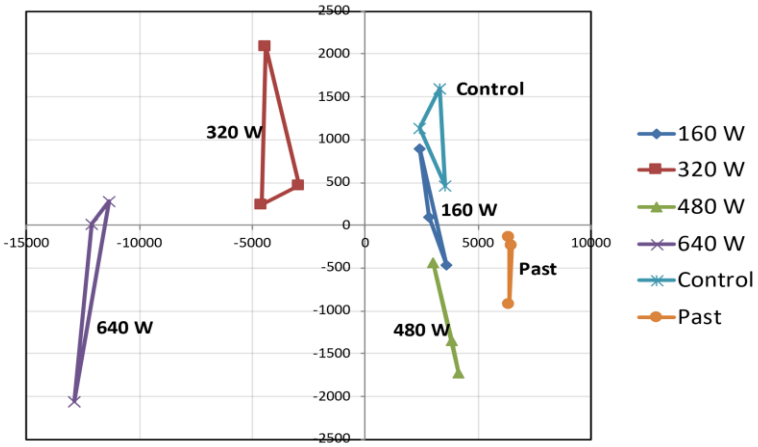
A análise do perfil volátil por nariz eletrônico revelou que os diferentes tratamentos impactaram significativamente a composição aromática do iogurte. A pasteurização provocou a maior perda de compostos voláteis, com desaparecimento de 8 dos 11 compostos inicialmente presentes no controle. Entre os compostos ausentes estavam 1-hexanol, anetol e decanal, voláteis relacionados a notas herbais e doces. O único composto gerado após a pasteurização foi o ethyl isobutyrate, um éster com aroma frutado adocicado, sugerindo degradação de componentes voláteis sensíveis ao calor (Khalil et al., 2023).

Em contrapartida, o ultrassom, especialmente nas potências intermediárias, promoveu a formação de compostos voláteis favoráveis, como beta-pineno, octanal, 2,3-pentanediona e 3-heptanona, que conferem ao produto notas frescas, frutadas e lácteas. Tais alterações indicam que a cavitação induzida pelo ultrassom intensifica reações físico-químicas que modulam o perfil aromático, sem a degradação térmica típica da pasteurização (Zheng et al., 2021; National Center for Biotechnology Information, 2024).

A PCA (Análise de Componentes Principais) (Figura 3) evidenciou que os tratamentos com 480W e pasteurização apresentaram perfis voláteis similares, possivelmente devido à intensidade do processamento, apesar das diferenças térmicas. Já os tratamentos com 320W e 640W mostraram-se mais distantes dos demais, com o 640W destacando-se por perfil único, provavelmente em decorrência

da cavitação intensa e alterações estruturais acentuadas. O tratamento 160W aproximou-se do controle, sugerindo que baixas potências não impactaram significativamente o perfil volátil.

Figura 3. Análise de Componentes Principais (ACP) gerado a partir da análise do nariz eletrônico.



Esses resultados demonstram que o ultrassom pode ser uma ferramenta eficaz na modulação sensorial do iogurte, desde que aplicada em faixas de potência otimizadas, possibilitando a formação de compostos aromáticos desejáveis e a preservação de atributos sensoriais de qualidade.

4. Considerações Finais

A incorporação de 8% de polpa de mirtilo ao iogurte tipo skyr demonstrou-se eficaz na melhora de suas propriedades funcionais, promovendo aumento significativo da capacidade antioxidante e do conteúdo de compostos fenólicos totais. O processamento da polpa por ultrassom de alta intensidade (UAI) revelou-se uma alternativa promissora à pasteurização, particularmente nas potências intermediárias (320W e 480W), as quais favoreceram a preservação da coloração, a retenção de antocianinas e a melhoria das características reológicas do produto. Essas potências otimizaram a liberação de compostos bioativos e o desempenho tecnológico do iogurte, sem comprometer sua estabilidade.

A análise do perfil volátil por nariz eletrônico evidenciou que o ultrassom promoveu a formação de compostos aromáticos desejáveis, como ésteres e aldeídos associados a notas frutadas e frescas, ao passo que a pasteurização implicou maior perda de voláteis, com impacto negativo no potencial sensorial. A potência de 640W, embora tenha proporcionado maior retenção de antocianinas monoméricas, implicou

redução na viscosidade, possivelmente devido à degradação estrutural da matriz coloidal.

Tais resultados confirmam o potencial do UAI como tecnologia não térmica para o enriquecimento de produtos lácteos com ingredientes bioativos, especialmente frutas ricas em antocianinas, como o mirtilo (*Vaccinium myrtillus*). Contudo, ressalta-se a necessidade de estudos adicionais que avaliem a estabilidade microbiológica e a aceitação sensorial dos produtos elaborados, bem como a aplicação de tecnologias combinadas para maximizar os benefícios funcionais e tecnológicos observados.

5. Referências

Abdi, A., Alam, M. A., Pascal, R., & Piolet, C. (2017). Hydrodynamic and rheological characteristics of a pseudoplastic fluid through a rotating cylinder. *HAL Science*. https://hal.science

Afzal, A., Nawfal, I., & Mahbubul, I. M. (2019). An overview on the effect of ultrasonication duration on different properties of nanofluids. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 135*, 393–418. https://doi.org/10.1007/s10973-018-7144-8

Bontzolis, C. D., Dimitrellou, D., Plioni, I., Kandylis, P., Soupioni, M., Koutinas, A. A., & Kanellaki, M. (2024). Effect of solvents on aniseed aerial plant extraction using Soxhlet and ultrasound methods, regarding antimicrobial activity and total phenolic content. *Food Chemistry Advances, 4*, 100609.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2007). *Instrução Normativa nº 46, de 23 de outubro de 2007*. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leites Fermentados. https://www.cidasc.sc.gov.br

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2018). *Instrução Normativa nº 49, de 26 de setembro de 2018*. https://www.in.gov.br

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2022). *Métodos oficiais para análise de produtos de origem animal*. https://www.gov.br/agricultura

Codex Alimentarius Commission. (2022). *Standard for fermented milk: CXS 243-2003*. FAO/WHO. https://www.fao.org

De Araújo, F. F., et al. (2021). Influence of high-intensity ultrasound on color, chemical composition and antioxidant properties of araçá-boi pulp. *Food Chemistry, 338*, 127747. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127747

De Campo, C., et al. (2019). Incorporation of zeaxanthin nanoparticles in yogurt: Influence on physicochemical properties, carotenoid stability and sensory analysis. *Food Chemistry, 301*, 125230. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125230

Embrapa. (2019). Cadeia produtiva do leite. *Embrapa Gado de Leite*. https://www.embrapa.br/gado-de-leite

Gallo, M., Ferrara, L., & Naviglio, D. (2018). Application of ultrasound in food science and technology: A perspective. *Foods, 7*(10), 164. https://doi.org/10.3390/foods7100164

Garofalo, G., et al. (2024). Addition of fruit purees to enhance quality characteristics of sheep yogurt with selected strains. *Journal of Agriculture and Food Research, 16*, 101153.

García, A., & Fernández-García, T. (2024). Use of thermal-treated or high-pressure treated liquid micellar casein concentrate as an ingredient to manufacture a high-protein content yoghurt. *International Dairy Journal, 148*, 105794.

Instituto Adolfo Lutz. (2008). *Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos físico-químicos para análises de alimentos* (4ª ed.). São Paulo: IAL.

Khalil, A. A., et al. (2023). Comparando as propriedades antioxidantes e compostos voláteis da mistura de suco de cenoura e laranja processada por meio de variadas condições químicas, de pasteurização e de ultrassom. *Ultrasonics Sonochemistry, 98*, 106534.

Klopotek, Y., Otto, K., & Böhm, V. (2005). Processing strawberries to different products alters contents of vitamin C, total phenolics, total anthocyanins, and antioxidant capacity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53*, 5640–5646.

Konica Minolta. (2022). *Precise color communication*. https://sensing.konicaminolta.asia

Kovacs, Z., et al. (2020). Electronic nose for monitoring odor changes of Lactobacillus species during milk fermentation and rapid selection of probiotic candidates. *Foods, 9*(11), 1539. https://doi.org/10.3390/foods9111539

Kubala, J. (2023). Skyr benefits: Why this Icelandic yogurt is great for your health. *Health.com*. https://www.health.com

Kumar, K., Srivastav, S., & Sharanagat, V. S. (2021). Ultrasound-assisted extraction (UAE) of bioactive compounds from fruit and vegetable processing by-products: A review. *Ultrasonics Sonochemistry, 70*, 105325. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105325

Leite, S. T., Roberto, C. D., Silva, P. I., & Carvalho, R. V. (2018). Polpa de juçara: fonte de compostos fenólicos, aumento da atividade antioxidante e da viabilidade de bactérias probióticas de iogurte. *Revista Ceres, 65*(1), 16–23.

Li, S., Ye, A., & Singh, H. (2021). Effects of seasonal variations on the quality of set yogurt, stirred yogurt, and Greek-style yogurt. *Journal of Dairy Science, 104*(2), 1424–1432.

Liu, Y., et al. (2018). Effect of temperature and pH on stability of anthocyanin obtained from blueberry. *Food Measure, 12*, 1744–1753. https://doi.org/10.1007/s11694-018-9815-z

Lorenzo, J. M., et al. (2022). Use of an electronic nose for aroma analysis of fermented dairy products: A review. *Food Research International, 157*, 111262.

Mattioli, R., Francioso, A., Mosca, L., & Silva, P. (2020). Anthocyanins: A comprehensive review of their chemical properties and health effects on cardiovascular and neurodegenerative diseases. *Molecules, 25*(17), 3809.

Martins, C., et al. (2018). Chemical, sensory, and functional properties of whey-based popsicles manufactured with watermelon juice concentrated at different temperatures. *Food Chemistry, 255*, 58–66.

Martins, C., et al. (2019). Avaliação da temperatura de pasteurização da polpa de gabiroba (Campomanesia xanthocarpa). In *Anais do 13º Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos*. Campinas: Galoá.

National Center for Biotechnology Information. (2024). *PubChem compound summary for CID 7342*. https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov

Sarkis, J. R. (2011). *Construção de um sistema de aquecimento ôhmico e sua aplicação no tratamento térmico de polpa de mirtilo* (Dissertação de mestrado). Universidade Estadual de Campinas.

Şengül, M., Can, B., Ürkek, B., & Gürbüz-Kaçan, Z. (2022). Effect of blueberry addition on antioxidant activity, textural, microbiological, and physicochemical properties of strained yoghurt. *Anais da Academia Brasileira de Ciências, 94*, e20201798.

Sui, X. (2017). Combined effect of pH and high temperature on the stability and antioxidant capacity of two anthocyanins in aqueous solution. In X. Sui (Ed.), *Impact of food processing on anthocyanins* (pp. 63–90). Springer.

Swain, T., & Hillis, W. E. (1959). The phenolic constituents of Prunus domestica: The quantitative analysis of phenolic constituents. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 10*, 63–68.

Tiwari, B. K., et al. (2009). Effect of ultrasound processing on anthocyanins and color of red grape juice. *Ultrasonics Sonochemistry, 16*(6), 691–697.

Torrico, D. D., et al. (2020). Consumer rejection threshold, acceptability rates, physicochemical properties, and shelf-life of strawberry-flavored yogurts with reductions of sugar. *Journal of Dairy Science, 103*(5), 4155–4166.

Zajác, P., et al. (2020). Effect of commercial yogurt starter cultures on fermentation process, texture, and sensory parameters of white yogurt. *Slovak Journal of Food Sciences, 14*, 23–31.

Zheng, H., et al. (2024). Evaluation of ultrasound-assisted tomato sour soup marination on beef: Insights into physicochemical, sensory, microstructural, and flavour characteristics. *Ultrasonics Sonochemistry, 110*, 107028.

Zhu, D., et al. (2022). Ultrasonic and other sterilization methods on nutrition and flavor of cloudy apple juice. *Ultrasonics Sonochemistry, 84*, 105975.



ISBN 978-658506225-1