

BIOTECNOLOGIA INDUSTRIAL: ESTUDOS E APLICAÇÕES



ORGANIZADORES:

GERLA CASTELLO BRANCO CHINELATE
EDVANE BORGES DA SILVA
LIDERLÂNIO DE ALMEIDA ARAUJO
KRAUSE GONÇALVES SILVEIRA ALBUQUERQUE



TROPPO

Editora & Eventos & Treinamentos

Biotecnologia Industrial: Estudos e Aplicações

© 2025 copyright by Gerla Castello Branco Chinelate, Liderlâneo de Almeida Araújo,
Edvane Borges da Silva, Krause Gonçalves Silveira Albuquerque. (Orgs)

Impresso no Brasil/Printed in Brazil



Rua nossa senhora do carmo
Passarinho – Recife PE
(87) 996831721
Tropoeditora@gmail.com
www.tropoeditora.com.br

Coordenação editorial e projeto gráfico

João Paulo Alves Marinho
Krause Gonçalves Silveira Albuquerque

Coordenação do conselho editorial

Alberto Einstein Pereira de Araujo

Conselho editorial

Alberto Einstein Pereira de Araujo

Raimundo Bernadino Filho

Revisão

Edvane Borges da Silva
Liderlâneo de Almeida Araújo

Diagramação

Krause Gonçalves Silveira Albuquerque

Catálogo

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Even3 Publicações, PE, Brasil)

B616 Biotecnologia Industrial: Estudos e Aplicações [Recurso digital] /
 Organizado por Gerla Castello Branco Chinelate...[et al.]. –
 Recife: GRUPO TROPPO, 2025.

DOI 10.29327/5586690
ISBN 978-65-272-1668-1

1. Biotecnologia. 2. Biotecnologia industrial. 3. Processos
enzimáticos. 4. Processos fermentativos. 5. Segurança de
alimentos. I. Chinelate, Gerla Castello Branco.

CDD 660.63

Allini Paulini - CRB-4/2185 1241

**BIOTECNOLOGIA INDUSTRIAL:
ESTUDOS E APLICAÇÕES**

ORGANIZADORES

Gerla Castello Branco Chinelate

Liderlânio de Almeida Araújo

Edvane Borges da Silva

Krause Gonçalves Silveira Albuquerque

PREFÁCIO

A biotecnologia industrial tem desempenhado um papel fundamental na inovação de processos e produtos, promovendo soluções sustentáveis e tecnologicamente avançadas para diversos setores, como o alimentício, farmacêutico, energético e ambiental. Neste contexto, este eBook, intitulado *Biotecnologia Industrial: Estudos e Aplicações*, reúne uma coletânea de pesquisas que ilustram a diversidade e a relevância das investigações conduzidas nesta área.

Cada capítulo deste livro representa um estudo, refletindo não apenas o avanço do conhecimento científico, mas também sua aplicação prática em processos industriais. Os temas abordados incluem desde a otimização de fermentações e o desenvolvimento de bioprodutos até o aproveitamento de resíduos agroindustriais e a análise de compostos bioativos. Dessa forma, esta obra se torna uma fonte valiosa de informação para pesquisadores, estudantes e profissionais interessados em aprofundar seus conhecimentos sobre a biotecnologia industrial.

Ao longo das páginas, os leitores encontrarão estudos que combinam experimentação laboratorial, modelagem matemática e simulação computacional, demonstrando a interseção entre a teoria e a prática na busca por soluções inovadoras. Além disso, destaca-se o papel da colaboração acadêmico-industrial e da internacionalização da pesquisa como elementos essenciais para a evolução do setor.

Esperamos que este livro inspire novas pesquisas, fomenta discussões e contribua para o avanço da biotecnologia industrial como uma ferramenta essencial para o desenvolvimento sustentável. A todos os leitores, desejamos uma proveitosa jornada pelo conhecimento aqui compartilhado.

Boa leitura!

Gerla Castello Branco Chinelate

SUMÁRIO

1. AFLATOXINAS INFLUÊNCIA NA SEGURANÇA ALIMENTAR: UMA REVISÃO.....	6
2. AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA E FÍSICO-QUÍMICA DA POLPA DE AÇAÍ (<i>EUTERPE OLERACEA</i>) PROVENIENTE DE FÁBRICAS DA CIDADE DE CAMETÁ – PA.....	18
3. ESTUDO COMPARATIVO DE PROCESSOS BIOTECNOLÓGICOS UTILIZANDO A ENZIMA LACTASE PARA A PRODUÇÃO DE SORVETES.....	29
4. INOVAÇÃO DIAGNÓSTICA COM BIOSSENSORES: UMA REVOLUÇÃO NA DETECÇÃO DE BIOMARCADORES DO CÂNCER CERVICAL.....	46
5. MÉTODOS BIOTECNOLÓGICOS PARA A UTILIZAÇÃO DE ENZIMAS NA INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS: REVISÃO DE LITERATURA.....	62
6. MICRORGANISMOS CONTAMINANTES DE FAST FOOD: CONTROLE DE CONTAMINAÇÃO E SEGURANÇA ALIMENTAR: REVISÃO.....	70
7. NOVOS ANTIBIÓTICOS A PARTIR DE CAROTENOIDES BACTERIANOS.....	85
8. SORO DE LEITE: “OURO VERDE” OU UM RESÍDUO AGROINDUSTRIAL.....	97
9. USO DE ENZIMAS PECTINASES E CELULASES NA PRODUÇÃO DE SUCOS: UMA REVISÃO DE LITERATURA.....	121
10. VIABILIDADE DE CERVEJAS ARTESANAIS COM ADIÇÃO DE SORO DE LEITE E/OU FRUTAS	131

CAPÍTULO 01

DOI: 10.29327/5586690.1-1

AFLATOXINAS INFLUÊNCIA NA SEGURANÇA ALIMENTAR: UMA REVISÃO

AFLATOXINS INFLUENCE ON FOOD SAFETY: A REVIEW

Liderlanio de Almeida Araújo
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Priscylla Laryssa Rocha Lins
Universidade Federal de Pernambuco

Krause Gonçalves Silveira Albuquerque
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Edvane Borges da Silva
Universidade Federal de Pernambuco

Gerla Castello Branco Chinelate
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

RESUMO

Os fungos fazem parte do reino fungi, sendo classificados como organismos eucariontes e heterotróficos. As micotoxinas podem ser caracterizadas como metabólitos dos fungos que desencadeiam alterações patogênicas em animais e homens. Em comparação com as demais micotoxinas, a aflatoxina apresenta um maior risco por possuir propriedades oncogênicas e imunossupressoras, fazendo parte da principal categoria respaldada pela lei, visto que são as mais presentes em produtos alimentícios e acarretam em maiores alterações fisiológicas. Neste aspecto, o referido estudo tem por finalidade realizar um levantamento de literatura a respeito da aflatoxina e sua influência na segurança alimentar. Analisou-se nos estudos a presença de micotoxinas em diferentes espécies de silos, além disso a aflatoxina do tipo B1 é classificada como um agente cancerígeno potente por meio da contaminação de alimentos. Assim, evidencia nas pesquisas realizadas que essa é uma substância tóxica, cancerígena e imunossupressora.

PALAVRAS-CHAVE: Fungos; Micotoxina; Contaminação alimentar.

INTRODUÇÃO

Os fungos fazem parte do reino fungi, sendo classificados como organismos eucariontes e heterotróficos. Estes são formados estruturalmente por hifas, que são pequenos filamentos que constituem o micélio, os quais formam diversas estruturas de dispersão, sendo a principal a via atmosférica, ou seja, pelo ar. Esta classe é um fator contribuinte para o desenvolvimento de alergias nos seres humanos, sendo também um agente deteriorante em diversos materiais. Além disso, esses apresentam outras maneiras de dispersão, como a água, animais e o próprio homem. Quando estes encontram um substrato com condições ambientais propícias como a alta umidade e temperatura, condições de pH e composição química de determinados alimentos, crescem e colonizam-se (Montanhini *et al.*, 2010).

As micotoxinas podem ser caracterizadas como metabólitos dos fungos que desencadeiam alterações patogênicas em animais e homens. Nessa perspectiva, essas surgem por meio de uma série de reações catalisadas por enzimas, acredita-se que essas são produzidas quando acontece aglomeração de precursores metabólicos primários. E, para impedir essa aglomeração, estes deslocam o aglomerado dos precursores para a formação de metabólitos secundários, ou seja, as micotoxinas (FAO, 2007; Okuma *et.*

al., 2018).

As micotoxinas são capazes de invadir as cadeias alimentares humana e animal através de contaminação direta ou indireta. Se tratando da primeira via, essa acontece por meio da ingestão de alimentos vegetais, e pela forma indireta por meio de alimentos de origem animal (Marroquin *et. al.*, 2014).

Nessa ótica, é importante ressaltar que as micotoxinas são capazes de provocar problemas à saúde dos animais e seres humanos, especificamente em animais têm-se a diminuição da eficiência de produção e crescimento da vulnerabilidade a doenças infecciosas, e sob esse contexto, o medo de países importadores de matérias – primas com a presença de micotoxinas é crescente, tais fatores conrebuiem para à elaboração de legislações rígidas em relação aos níveis permitidos. Nesse sentido, as principais micotoxinas conhecidas atualmente são: aflatoxina (AFL), ocratoxina A (OTA), patulina (PAT), fumonisina (FUM), tricotecenos (TCT) e zearalenona (ZEA). (Freire *et al.*, 2007; Liew; Mohd-Redzwan, 2018).

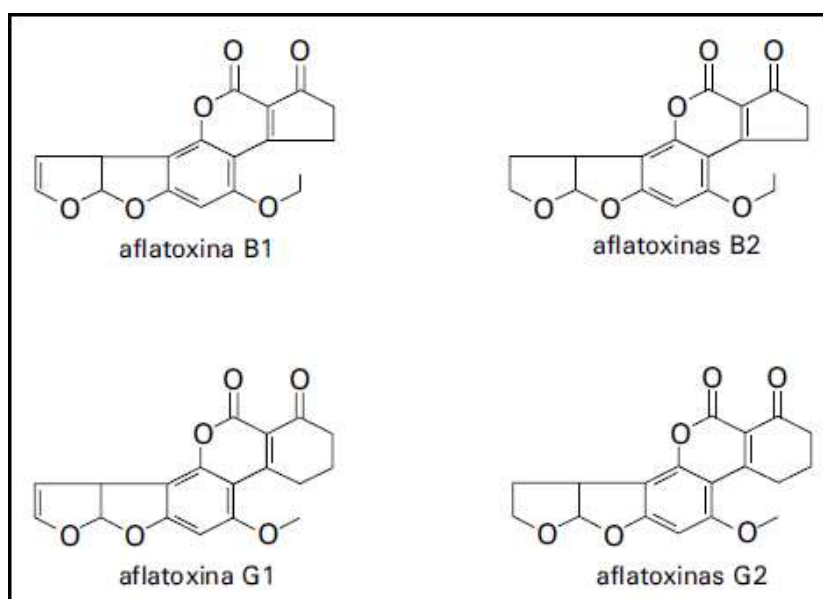
As aflatoxinas são micotoxinas que são localizadas em frutas secas e cereais em ambientes de umidade e temperatura elevadas (Richard, 2007). A ocratoxina A é formada por inúmeras espécies de *Aspergillus* e *Penicillium*, essa foi encontrada pela primeira vez em 1970 em humano no sudeste da Europa, a mesma contamina cereais e produtos à base do mesmo, grãos de café, frutos secos da videira, vinho e suco de uva (Ecycle, 2022).

A patulina é uma micotoxina formada por uma diversidade de fungos tais como *Aspergillus*, *Penicillium* *Byssochlamys*, normalmente é localizada em maçãs podres e produtos oriundos da mesma (Jackson *et. al.*, 2003; Who, 2022). A Fumonisina é uma micotoxina formada pelas cepas de *Fusariummoniliforme*, as quais são localizadas no milho (Prestes *et. al.*, 2019). A tricotecenos é uma família que tem como componentes o desoxinivalenol (DON), nivalenol (NIV) e toxinas T-2 e HT-2, e também a zearalenona (ZEN) e fumonisinas, essas são formadas por fungos dos gêneros *Fusarium*, *Cepalosporium*, *Myrothecium*, *Stachybotrys* e *Trichoderma*. Tricotecenos são contaminantes de grãos, e normalmente são gerados em ambientes de alta umidade (Who, 2022).

A zearalenona é uma micotoxina estrogênica não esteróide, normalmente é encontrada em cereais, por exemplo, trigo, cevada, arroz e milho, e a sua ocorrência está relacionada compor agentes ambientais, por exemplo, temperatura, umidade e grau de chuva durante a pré-colheita, na colheita e pós-colheita (Torrado *et. al.*, 2010).

Em se tratando, da aflatoxina essa é sintetizada principalmente pelos fungos *Aspergillus flavus*, *Aspergillus parasiticus*, *Aspergillus nomius*. As aflatoxinas mais comuns são as B1, G1, B2 e G2 (Figura 1), tais termos são devido à fluorescência que estes emitem sob a luz ultravioleta, a qual B significa blue e G significa Green. Esses fungos conseguem se desenvolver em locais de temperatura elevada e com alta umidade o que propicia uma maior contaminação dos alimentos como os grãos de milho, arroz e amendoim (Freire, 2007; Prado, 2014).

Figura 1: Estruturas das aflatoxinas



Fonte: Freire, 2007.

Em comparação com as demais micotoxinas, a aflatoxina apresenta um maior risco por possuir propriedades oncogênicas e imunos supressoras. Contendo efeitos carcinogênicos em animais e efeito agudo tóxico, em seres humanos estando relacionada ao carcinoma hepato celular. Os seres humanos podem ingerir essa micotoxina de forma direta ou indireta, sendo a direta por meio de alimentos como grãos que estão contaminados, e a indireta por meio do leite ou carne de animais que tem uma alimentação à base de ração, as quais podem estar contaminadas com a aflatoxina (Freire, 2007; Prado, 2014; Montanhini, 2010).

No Brasil , assim como em muitos países, existem legislações que visam proteger e assegurar o consumidor contra os efeitos nocivos provocados pela ingestão de alimentos contaminados por micotoxinas. Sob essa premissa, as aflatoxinas fazem

parte da principal categoria respaldada pela lei, visto que são as mais presentes em produtos alimentícios e acarretam em maiores alterações fisiológicas.

Em 2002, o Diário Oficial da União publicou por meio da RDC N° 274 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) onde destacou os níveis máximos de aflatoxinas no leite líquido e em pó, no milho em grão e na pasta de amendoim, além de outros produtos de gênero alimentício, assim como prescreveu planos de amostragem e estratégias de análises para a identificação de aflatoxinas (Brasil, 2002; Rodrigues, 2022).

Outrossim, existem legislações que regem os demais tipos de micotoxinas e outras que ainda estão sendo implementadas pela jurisdição Brasileira, desse modo, é válido ressaltar que há diversos fatores que dificultam a implementação dessas leis, como por exemplo, a disponibilização de dados toxicológicos e aspectos socioeconômicos e científicos, o que se torna um obstáculo para determinar a presença de micotoxinas. Em um outro panorama, no ano de 2007, a maioria dos países pertencentes ao continente africano não dispunham, a exemplo, de legislações que contemplassem a contaminação por micotoxinas, nesse sentido, grande parte da população era exposta aos efeitos nocivos causados por esse metabólito (Francisco *et al.*, 2007).

Logo, o referido estudo tem por finalidade realizar um levantamento de literatura a respeito da aflatoxina, bem como analisar os seus impactos e desafios para a sociedade, abrangendo o conhecimento sobre os efeitos dessa classe de micotoxina, principalmente para a saúde humana.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo trata-se de uma revisão bibliográfica realizada com a finalidade de contribuir com o conjunto de dados sobre a aflatoxina. A referida pesquisa foi realizada com base em artigos publicados entre o período de janeiro de 2011 a dezembro de 2023. Nas bases de dados da biblioteca virtual SCIELO e LILACS, nos idiomas português e inglês. Os descritores utilizados foram: micotoxinas, aflatoxinas, intoxicação alimentar, fungos e micotoxicoses.

Na referida pesquisa foram excluídos os artigos publicados anteriormente ao ano de 2007, embora falassem sobre o tema em questão não continham um conjunto de informações atualizadas. Também não foram selecionados artigos que fugissem da

temática central, ressaltando outro tipo de micotoxina, além de artigos que estivessem em idiomas diferentes da língua portuguesa e inglesa.

Referente aos critérios de inclusão, foram selecionados artigos de levantamento bibliográfico, manuais e revistas acadêmicas que compreendessem a temática das reações fúngicas nos alimentos e as aflatoxinas, bem como suas particularidades.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa realizada no banco de dados evidenciou aproximadamente 40 artigos que se encaixam nos descritores pré estabelecidos. Diante dos dados apresentados, é possível inferir que a formação das micotoxinas, a partir de determinadas espécies de fungos, ocorre de forma inevitável, tendo em vista a capacidade desses microrganismos de estarem inseridos na cadeia alimentar, uma vez que a contaminação pode acontecer por meio de diversas vias, seja direta ou indiretamente.

Estudos recentes mostraram que os genes que regulam a biossíntese de aflatoxinas são altamente conservados entre diferentes espécies de *Aspergillus*. Nesse sentido, os níveis de contaminação de aflatoxinas em alimentos são regulados em muitos países, haja vista que existem limites máximos estabelecidos para a presença de aflatoxinas em alimentos (Prado, 2017; Rodrigues, 2022).

No Brasil, os limites máximos tolerados (LMT) para a presença de aflatoxinas são de 20 µg/kg para aflatoxinas B1, B2, G1 e G2 em amendoim, castanha de caju, milho e outras oleaginosas, 10 µg/kg para aflatoxinas B1, B2, G1 e G2 em farinhas e derivados de milho, 0,05 µg/kg para aflatoxina M1 em leite e produtos lácteos e 0,5 µg/kg para aflatoxina M1 em leite em pó e produtos à base de leite em pó (Anvisa, 2011).

Dentre os estudos selecionados a partir dos descritores estabelecidos no presente estudo, destaca o publicado por Toledo (2018) em pesquisa realizado no Brasil, na região norte do Paraná, foram analisadas e identificadas a presença de micotoxinas em diferentes espécies de silos recolhidos em 54 propriedades, situadas nessa localização. O estudo foi realizado considerando as análises bromatológicas e micotoxicológicas da aflatoxina-AFLA, bem como o pH presente nas amostras. Em se tratando, da presença de aflatoxinas em grãos conforme tabela 01 foi destacado as principais produções que mais se enquadram dentro os parâmetros aqui estabelecido.

Tabela 01: Estudos que englobam aflotoxinas

Tema	Ano de publicação	Autores
Análise de trilha da contaminação por aflatoxinas em grãos de milho armazenados.	2015	Domenico <i>et al.</i> ,
Extrinsic and intrinsic factors associated with mycotoxigenic fungi populations of maize grains (<i>Zea mays</i> L.) stored in silobags in Argentina.	2015	Castellari <i>et al.</i> ,
Estudo sobre a ocorrência de fungos e aflatoxina B1 na dieta de bovinos leiteiros em São Paulo	2015	Motta <i>et al.</i> ,
Occurrence of <i>Aspergillus</i> sp., <i>Fusarium</i> sp., and aflatoxins in corn hybrids with different systems of storage.	2016	Domenico <i>et al.</i> ,
Aflatoxinas en alimentos y leche de vacas de 18 establecimientos comerciales de las regiones centro-sur y este de Uruguay.	2019	Capelli; Suarez; Garcia.
Storage system and incidence of the main fungi that produce mycotoxins in grains.	2020	Rocha <i>et al.</i> ,

Fonte: Autores, 2025.

A partir das buscas literárias destacam-se que as aflatoxinas dentre as micotoxinas são as que precisam de maior alerta, visto que variados estudos classificam a aflatoxina tipo B1 como um agente cancerígeno potente por meio da contaminação de alimentos. Essa classe de micotoxina provoca intoxicação aguda ou crônica, sendo a primeira denominada de aflatoxicose. Outrossim, a aflatoxicose crônica revela alterações patológicas alongo prazo, como por exemplo, o câncer, uma vez que as aflatoxinas são extremamente mutagênicas, carcinogênicas e teratogênicas (Santos *et al.*, 2022).

Nesse sentido, é importante salientar que a aflatoxina B1, em particular, é um fator de risco para o carcinoma hepático, pois induz uma mutação no gene p53, supressor de tumor. A contaminação de alimentos varia de acordo com fatores geográficos e sazonais, bem como as condições de cultivo, colheita e armazenamento.

Sendo assim, os maiores índices de contaminação fúngica em produtos agrícolas ocorrem nas etapas de produção, desde o plantio até a armazenagem (Sacramento, *et al.*, 2016).

No Brasil, Prado (2017) verificou a presença de aflatoxinas do tipo B1 no milho, que entre 21 das 200 amostras analisadas, cerca de 16 amostras (76%) apresentaram uma concentração superior dos limites máximos toleráveis. Ademais, dentre as várias castanhas, a castanha-do-Brasil é o produto com a maior prevalência de aflatoxinas, e conseqüentemente, isso provoca prejuízos no setor econômico e sanitário, visto que independente da comercialização, as famílias extrativistas consomem este alimento em grande escala (Costa, *et al.*, 2009; Bittencourt *et al.*, 2012).

Em se tratando da presença de aflotoxinas em alimentos, tem-se a sua presença marcada em diversos estudos evidenciando a sua presença na castanha do Brasil e o leite, a tabela 02, evidencia alguns estudos que discutem a presença de aflotoxina nesses.

Tabela 02: Estudos que englobam aflotoxinas em alimentos

Tema	Ano de publicação	Autores
Qualidade da castanha-do-Brasil do comércio de Rio Branco, Acre	2012	Álvares <i>et al.</i> ,
Análise de Aflatoxinas B1, G1, B2 e G2 em Castanha-do-Brasil, Milho e Amendoim Utilizando Derivatização Pós-Coluna no Sistema Cromatográfico CLAE/ Kobra-Cell®/DFL	2013	Castro; Anjos; Teixeira.
A PRESENÇA DE AFLATOXINAS NA CASTANHA-DO-BRASIL (<i>Bertholletia excelsa</i> H.B.K.): uma revisão.	2016	Kato <i>et al.</i> ,
Identificação de aflatoxinas no leite e produtos lácteos: Revisão de literatura	2021	Magalhães <i>et al.</i> ,
Ozonização de “leite vegetal” de amendoim para degradação de aflatoxinas	2021	Romero; Augusto; Domingues
A CONTAMINAÇÃO DA CASTANHA DO BRASIL POR AFLATOXINAS E SEU EFEITO CARCINOGÊNICO: uma	2022	Vieira <i>et al.</i> ,

revisão narrativa		
Aflatoxina M1 em leite pasteurizado e UHT e leite em pó comercializados em Londrina, Brasil e exposição estimada	2015	Santos, <i>et al.</i> ,

Fonte: Autores, 2025.

Partindo dessa premissa, as perdas econômicas acometidas pelo descontrole da micotoxina estão associadas, principalmente, a condição alimentícia de animais de pasto e seres humanos, ou seja, há uma redução quantitativa na disponibilidade de alimentos de qualidade para o consumo e isso leva, eventualmente, a uma redução na produção animal, haja vista a recusa do alimento. Assim, como o custo médio no tratamento de doenças advindas das micotoxinas também torna-se um problema a ser discutido. Dessa maneira, estratégias de intervenção à exposição de micotoxinas incluem, principalmente, a prevenção primária que põe em prática o uso da educação comunitária em cultura de grãos além do uso de aditivos absorventes e clorofila, a fim de inibir a absorção de aflatoxina a partir do trato gastro intestinal (Prado, 2017).

CONCLUSÃO

Com base nos trabalhos elucidados, pode-se verificar que a contaminação em alimentos por aflatoxina, uma micotoxina que apresenta um grave problema tanto para a saúde humana quanto para a de animais. Essa é uma substância tóxica, cancerígena e imunossupressora, assim, nota-se a importância de abordar tal temática para ter-se um melhor conhecimento e aumentar a fiscalização dos principais alimentos que são contaminados com a aflatoxina.

Além disso, essa contaminação por essa micotoxina traz consequência para a economia do país, pois espelha-se nas exportações, trazendo danos econômicos. Portanto, é preciso um maior rigor nas fiscalizações e maior investimento em laboratórios que fazem análises da toxicidade desses produtos, a fim de diminuir os níveis da aflatoxina nos alimentos, o que acarretará em menor impacto para a saúde e para a economia.

REFERÊNCIAS

- Anvisa. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 7, de 18 de fevereiro de 2011. Dispõe sobre Limites Máximos Tolerados (LMT) para micotoxinas em alimentos. Brasília, 2011.
- Bittencourt, D.; Dias, J. A.; Alvarez, V. S. Micotoxinas em amêndoas da castanha-do-Brasil. Disponível em:
<<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/938631/1/AP2012MicotoxinasemamendoasdacastanhadoBrasil.pdf>>. Acesso em: 04 mar. 2023.
- Costa, AK; *et al.* Fungos associados à castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Humb.Bompl) e ao amendoim (*ArachishypogaeaL.*) comercializados em Fortaleza (Ceará). Revista Ciência Agronômica, v.40, n.3, p.455-460, 2009.
- Ecycle. As micotoxinas são substâncias químicas tóxicas produzidas por fungos durante o processo de decomposição dos alimentos. 2022.
- FAO/OMS. Codex Alimentarius: Producción de Alimentos de Origen Animal. 1 ed., Romã, 2007. Disponível em:<<https://www.fao.org/3/a1388s/a1388s00.htm>>. Acesso: 30 jan. 2023.
- Freire, FCO; Vieira, IGP; Guedes, MIF; Mendes, FNP. Micotoxinas: Importância na Alimentação e na Saúde Humana e Animal. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2007.48p. Disponível em:
<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAT-2010/10830/1/Dc-110.pdf>>. Acesso: 30 jan. 2023.
- Frisvad, JC; Samson, RA. Filamentous fungi in foods and feeds: ecology, spoilage and mycotoxinproduction. In: ARORA, D.K., MUKERJI, K.G., MARTH, E.H. (Ed.). Food and Feeds. New York: MarcelDekker, 1992, p.31-68. (Handbookofapplied mycology,3).
- Liew, WP, Sabran, M. Mycotoxin: Its Impact on Gut Health and Microbiota. Frontiers in Cellular andInfection Microbiology, v. 8, n. 1, 2018. Disponível em:
<<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29535978/>>. Acesso: 30 jan. 2023.
- Marroquín-Cardona, AG *et al.* Micotoxinas em um ambiente global em mudança-uma revisão. Foodand Chemical Toxicology, v. 69, p. 220-230,

2014. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278691514002075?casa_token=GEVFdaUbVssAAAAA:TWCuKsSH9oONavEfufbrnI8ukw9ejRUH6cZSXJMWRvWCHukqHXzOo9FqJ9igO9GiVew8gGSh73eV>. Acesso: 30 jan. 2023.

Okuma, TA; Huynh, TP.; Hellberg RS. Use of enzyme-linked immunosorbent assay to screen for aflatoxins, ochratoxin A, and deoxynivalenol in dry pet foods. *Mycotoxin Research*, v.34, n.1, p.69-75,

2018. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s12550-017-0300-3>>. Acesso: 30 Jan. 2023.

Prado, G. Contaminação de Alimentos por Micotoxinas no Brasil e no Mundo. *Revista de Saúde Pública do SUS/MG*, [S. l.], v. 02, n.02, p. 13-22, 2017.

Disponível em: <<https://docs.bvsalud.org/biblioref/coleciona-sus/2014/34416/34416-878.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2023.

Prestes, ID. *Et al.* Principais fungos e micotoxinas em grãos de milho e suas consequências. *Scientia Agropecuária*, v. 10, n.4, p. 559-570, 2019.

Disponível em: <<http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v10n4/a13v10n4.pdf>>. Acesso: 30 jan. 2023.

Richard, J. Algumas das principais micotoxinas e suas micotoxicoses - Uma visão geral. *Jornal internacional de microbiologia alimentar*, v.119, n.1-2, pág.3-10, 2007.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168160507003790?casa_token=8MmdlxLMdOIAAAAA:NFDHa7Lv8BLn3lotNOVjPXgo1zvpdWBuVewU1tq-vTjHITyXo_9S1O4EQWA1U6xgrW4fhx6rYrDn>. Acesso: 30 jan. 2023.

Rodrigues, H. F. Levantamento bibliográfico sobre as micotoxinas presentes nos alimentos. 2022. Disponível em:

<<https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/4187>>. Acesso: 30 jan. 2023.

MONTANHINI, TM; Maíke, LSB. Micotoxinas em Alimentos Produzidos no Brasil. *Micotoxinas, Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, ano 2010, v. 12, ed.1, p. 89-99, 14 jan. 2023.

Torrado, E. *et al.* Pressurized liquid extraction followed by liquid chromatography-mass spectrometry for determination of zearaleno neincereal <ours. *Food Control*.

v.21, p. 399-402,2010. Disponível

em :<[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713509001911?](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713509001911?casa_token=IrhflMxOFIoAAAAA:D_WgiudupOZZ2iT0R2f7TXsMuXsU4Gmb4s0Cwj6oE9MtJ5Jzo1dbl-vKa1HvEUIdTdduyoIL2lo)

[casa_token=IrhflMxOFIoAAAAA:D_WgiudupOZZ2iT0R2f7TXsMuXsU4Gmb4s0Cwj6oE9MtJ5Jzo1dbl-vKa1HvEUIdTdduyoIL2lo](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713509001911?casa_token=IrhflMxOFIoAAAAA:D_WgiudupOZZ2iT0R2f7TXsMuXsU4Gmb4s0Cwj6oE9MtJ5Jzo1dbl-vKa1HvEUIdTdduyoIL2lo)>. Acesso: 30 jan. 2023.

Vieira, DO. A contaminação da castanha do Brasil por aflatoxinas e seu efeito carcinogênico: uma revisão narrativa. Research, Society and Development, v. 11, n. 7, p. e52911730309-e52911730309, 2022. Disponível

em:<<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/30309>>Acesso :13fev.2023.

Who.Mycotoxins.Disponível em:<<https://www.who.int/newsroom/factsheets/detail/mycotoxins>>.Acesso:30jan.2023.

Santos, JS. *et al.*, Aflatoxina M1 em leite pasteurizado e UHT e leite em po comercializados em Londrina, Brasil e exposicao estimada. *ALAN* [online]. v.65, n.3, pp.181-185. 2015.

Romero, AC; Augusto, PED; Domingues, MAC. Ozonização de “leite vegetal” de amendoim para degradação de aflatoxinas. R. bras. Ci. Vet., supl., v. 28, n. 2, p. 43-46, abr./jun. 2021

Magalhães, LS. Sola, MC. Identificação de aflatoxinas no leite e produtos lácteos: Revisão de literatura. Research, Society and Development, v. 10, n. 8, 2021.

Kato, CG. *et al.*, A PRESENÇA DE AFLATOXINAS NA CASTANHA-DO-BRASIL (*Bertholletia excelsa* H.B.K.): uma revisão. Revista UNINGÁ. v.26, n.2, pp.35-40. 2016.

Álvares, VS.; Qualidade da castanha-do-Brasil do comércio de Rio Branco, Acre. Acta Amazonica, v. 42, nº2, 2012.

Castro, IM; Anjos, MR.; Teixeira, AS. Análise de Aflatoxinas B1, G1, B2 e G2 em Castanha-do-Brasil , Milho e Amendoim Utilizando Derivatização Pós-Coluna no Sistema Cromatográfico CLAE/ Kobra-Cell®/DFL. Comunicado Técnico, 198. Embrapa Agroindústria de Alimentos. 2013.

Vieira, *et al.*, A contaminação da castanha do Brasil por aflatoxinas e seu efeito carcinogênico: uma revisão narrativa. Research, Society and Development, v. 11, n. 7, 2022

CAPÍTULO 02

DOI:10.29327/5586690.1-2

AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA E FÍSICO-QUÍMICA DA POLPA DE AÇAÍ (*EUTERPE OLERACEA*) PROVENIENTE DE FÁBRICAS DA CIDADE DE CAMETÁ – PA

MICROBIOLOGICAL AND PHYSICOCHEMICAL EVALUATION OF AÇAÍ PULP (*EUTERPE OLERACEA*) FROM FACTORIES IN THE CITY OF CAMETÁ – PA

Joice Silva de Freitas
Universidade Federal de Pernambuco

Renato Meireles dos Santos
Universidade Federal do Pará

Daniela Maria do Amaral Ferraz Navarro
Universidade Federal de Pernambuco

Edvane Borges da Silva
Universidade Federal de Pernambuco

Liderlânio de Almeida Araújo
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Gerla Castello Branco Chinelate
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

RESUMO

Em virtude das características nutricionais da polpa de açaí e a incidência de veículo de agentes causadores de DTAs, o objetivo da pesquisa foi analisar a qualidade das polpas de açaí fabricadas na cidade de Cametá- PA. Foram avaliadas dois tipos de polpas provenientes das fabricas, as mesma foram avaliadas por meio das análises físico-químicas (umidade, pH, acidez, sólidos solúveis e sólidos totais) e microbiológicas (coliformes totais, coliformes termotolerantes, bactéria aeróbias mesófilas, fungos filamentosos e leveduras). As amostras apresentaram valores satisfatórios nas determinações microbiológicas, em relação as características físico-químicas as mesmas foram classificadas como tipo C em virtude dos valores de sólidos solúveis, acidez apresentou em conformidade com a legislação, o teor de umidade oscilou de 89,57a 91,96%, os valores para sólidos solúveis totais (°Brix) variam 3,3 a 5,7 e uma amostra apresentou pH em desacordo com a legislação. As amostras avaliadas no presente estudo apresentaram resultados satisfatórios nas determinações microbiológicas, isso mostra que as polpas são processadas corretamente. Em relação a caracterização físico-química a maioria dos parâmetros estão de acordo com a legislação, com exceção para a determinação de pH que teve um valor abaixo do preconizado pela legislação. É de suma importância realizar as determinações microbiológicas e físico-químicas, afim de verificar a procedência das polpas comercializadas.

PALAVRAS-CHAVE: Açaí; Caracterização; Qualidade.

INTRODUÇÃO

O açaí é o fruto proveniente da palmeira tropical *Euterpe oleracea Mart.* é um dos alimentos funcionais bastante difundidos e cultivados na Amazônia brasileira e exerce certa influência no aspecto social, econômico e ambiental. Este é utilizado na elaboração de sucos, polpas e preparações, tais como: doces, licores, sorvetes, picolés, pó e geleia. Atualmente esse insumo vem ganhando destaque devido as suas propriedades nutricionais tais como proteínas, sólidos solúveis, sólidos totais, açúcares totais, redutores e não redutores, lipídeos, carboidratos, vitamina E, polifenóis e carotenoides que são benéficos para a saúde (Portinho; Zimmermann; Bruck, 2012; Neves *et al.*, 2015; Santos *et al.*, 2016; Soumanou, 2016; Silva *et al.*, 2017; Almico *et al.*, 2018).

A polpa apresenta em sua composição nutricional sólidos solúveis, sólidos totais, proteínas, açúcares totais, redutores e não redutores, lipídeos entre outros, o que torna esse produto objeto de estudo devido seu valor sensorial e nutricional

O fruto do açaí é altamente perecível, após o seu processo sua durabilidade é de no máximo 12 h sobre refrigeração, com intuito de aumentar a vida útil desse insumo a obtenção a polpa do fruto é determinante, mas se a mesma não for processada

adequadamente se torna propícia a contaminação. Com intuito de prevenir e/ou reduzir as DTAs. No Brasil, a qualidade das polpas de frutas, são regulamentadas pela Instrução Normativa nº 37, de 1º de outubro de 2018, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, que determina os Padrões de Identidade e Qualidade (PQI's) para polpa de frutas (Brasil, 2018) e pela Instrução Normativa Nº 60, de 23 de dezembro de 2019 do Ministério da Saúde, que regulamenta os padrões microbiológicos para alimentos (Brasil, 2019).

O açaí apresenta um substrato ideal para o desenvolvimento de microrganismo e sua perecibilidade está diretamente relacionada a elevada carga microbiológica ou degradação enzimática, altas concentrações de açúcar, alta atividade de água, além da contaminação relacionada as condições higiênico-sanitárias inadequadas do local de processamento, dos manipuladores, materiais, utensílios e equipamentos e com isso se torna propício a o açaí é favorável a contaminação de bactérias, como coliformes totais, coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*, *Salmonella sp.*, parasitas, fungos e leveduras (Da Silva *et al.* 2022; Souza, Gomes 2019).

Em virtude das características nutricionais da polpa de açaí e a incidência de veículo de agentes causadores de DTAs, tornam-se necessários estudos que objetivam analisar a qualidade das polpas de açaí fabricadas na cidade de Cametá- PA. Diante desse contexto, a avaliação microbiológica e físico-química é determinante para analisar a procedência das polpas de açaí comercializadas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Obtenção da matéria prima

As polpas de açaí foram coletadas em duas fábricas proveniente do município de Cametá-PA, posteriormente foram conduzidas ao laboratório de alimentos e microbiologia da Universidade do Estado do Pará – UEPA, Campus XVIII, em isopor sob refrigeração, tomando-se os devidos cuidados durante o transporte para realização das análises microbiológica e físico-química.

Caracterização físico-química das polpas de açaí

Para a caracterização físico-química das polpas foram realizadas as seguintes análises: umidade, pH, acidez, sólidos solúveis e sólidos totais as mesmas seguiram o método da AOAC (1997)

Determinação de Umidade

A determinação de umidade foi realizada pelo método gravimétrico, em estufa 105°C, com circulação de ar, onde a amostra foi seca até peso constante, método nº 925.10.

Acidez

A análise de acidez determinou-se pela reação de neutralização dos ácidos com solução padronizada de álcali, até o ponto de equivalência da amostra preparada, pelo método nº 942.15.

pH

Foi determinada através da imersão do eletrodo na amostra no estado líquido a 20 °C, método nº 943.02.

Sólidos solúveis

Leitura direta em refratômetro óptico portátil da marca Atagoco Ltd., modelo N1 a 20°C, método nº 932.12.

Sólidos totais

Foram determinados gravimetricamente segundo a metodologia nº 940.26.

Determinação microbiológica das polpas

Coletou-se assepticamente 25 g de polpa de açaí e transferiu para frasco contendo 225 mL de água peptonada estéril (Kasvi, Paraná, Brasil) e após homogeneização foram realizadas as diluições seriadas 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} e 10^{-4} , que foram utilizados em todas as determinações microbiológicas

Coliformes totais e termotolerantes

Para a determinação de coliformes utilizou-se a técnica de fermentação em tubos múltiplos, de acordo com PHA, 2001. Para essa análise utilizou-se o Caldo Lauril Sulfato Triptose (LST) para a incubação das diluições, sob temperatura de 37°C por 48 horas. A série de tubos que apresentaram resultados positivos (formação de gás no interior do tubo de Duran) para o teste confirmatório utilizou-se o caldo verde brilhante para coliformes a 35°C e o Caldo Escherichia coli para termotolerantes a 45°C por 24-48 horas,

Bactérias Aeróbias Mesófilas

Para a contagem de mesófilos UFC/mL-1, realizou-se a técnica plaqueamento em superfície em meio Agar Padrão para Contagem (PCA), de acordo com APHA. As placas foram incubadas em posição invertida a uma temperatura de $35-37^{\circ}\text{C}$ (que favorece o crescimento dos microrganismos) por um período de 24 a 48 horas. Após o período de incubação foram realizadas as contagens de bactérias mesófilas.

Fungos e Leveduras

A determinação de fungos e leveduras foi realizada conforme método da ISO 21527-1 onde, o ágar batata dextrose foi fundido e depois resfriado. Posteriormente acidificado a pH 3,5 através da adição de 1,5 mL dissolução de ácido tartárico a 10% para cada 100ml de meio. Em seguida, verteu-se as placas cerca de 14 a 20 ml até solidificar em superfície plana. A partir da diluição inicial 10^{-1} foram realizadas as demais diluições.

As placas foram incubadas, a $25 \pm 1^\circ\text{C}$, por 5 a 7 dias. Os resultados foram expressos em número de unidades formadoras de colônias por grama (UFC/g).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 ilustra os resultados das análises microbiológicas realizadas na polpa do fruto. Ao avaliar a tabela percebe-se resultados satisfatórios em todas as determinações microbiológicas.

Na determinação de coliformes totais as duas amostras apresentaram valores semelhantes de 23 (NMP/ml), indicando que não houve erro na etapa do processamento das polpas. Barcelos *et al.* (2017), ao avaliarem a qualidade do açaí proveniente do município de Ji Paraná - RO, obtiveram resultados para coliformes totais na ordem de 10^{-2} e 10^{-3} nas 16 amostras estudadas. Em outra pesquisa realizada por Marinho *et al.* (2018), ao estudarem as condições microbiológicas de polpas congeladas comercializadas em São Luís/MA, encontram elevado indicativo de contaminação por coliformes totais. Valores esses superiores quando comparado aos dados desta pesquisa.

Tabela 02: Determinação microbiológica das polpas de açaí

Marca s	Determinações Microbiológicas			
	Coliformes Totais (NMP/ml)	Coliformes termotolerantes (NMP/ml)	Bactérias aeróbias mesófilas (UFC)	Bolores e leveduras (UFC)
X	23	23	$2,0 \times 10^4$	<10 (est)
Y	23	23	$1,2 \times 10^3$	<10 (est)

Fonte: Autores, 2025.

Os resultados para coliformes termotolerantes das duas marcas apresentaram valores satisfatórios. Em uma pesquisa realizada por Fachine Neto *et al.* (2016), ao determinarem o perfil microbiológico de polpas de frutas congeladas comercializadas na cidade de Missão Velha-CE, encontram valores baixos para esse parâmetro.

Na determinação de Bolores e leveduras os resultados obtidos apresentam de acordo com a Instrução Normativa N° 60, de 23 de dezembro de 2019 estabelece para polpas de até 10^3 UFC g⁻¹ de bolores e leveduras. Em um estudo realizado por Silva *et al.* (2016), ao avaliar diferentes amostras de polpas frutas encontraram elevada contaminação por fungos.

Na determinação de bactérias aeróbias mesófilas os valores oscilaram de $1,2 \times 10^3$ a $2,0 \times 10^4$, a legislação não estipula valores para essa classe de microrganismo, de acordo com Franco *et al.* (2005), sugerem ser aceitável uma contagem até 10^6 . Desta forma, essas amostras estão adequadas para consumo em virtude do baixo número de colônias.

Resultados das determinações físico-químicas

A Tabela 2 ilustra os resultados das características físico-químicas (umidade, sólidos solúveis, pH, acidez total e sólidos totais) das polpas.

O valor médio de umidade das polpas de açaí oscilou de 89,57a 91,96%. O teor de umidade é um parâmetro relevante para que se possa tomar medidas preventivas em relação à conservação, preservação e segurança alimentar (Silva, *et al.*, 2022). Além disso, a determinação de umidade reflete também o teor de sólidos de um produto e quando está fora das recomendações técnicas resulta em grandes perdas na qualidade geral dos alimentos (Silva *et al.*, 2017).

Tabela 02: Caracterização físico-química (umidade, sólidos solúveis totais, pH, acidez total e sólidos totais) das polpas de açaí

Marcas	Umidade (%)	Sólidos Solúveis Totais (°Brix)	pH	Acidez total (g/100g)	Sólidos totais (g/100g)
x	89,57	3,3	3,97	0,10	10,43
y	91,96	5,7	4,60	0,05	8,04

Fonte: Dados da pesquisa (2023)

Os valores para sólidos solúveis totais variaram de 3,3 a 5,7, Freitas *et al.*, (2015), ao avaliar as características físico-químicas, bromatológicas, microbiológicas e Microscópicas de Polpas de Açaí (*Euterpe oleraceae*) Congeladas do Tipo B, encontraram valores para brix em três amostra de 1,0, 1,4 e 2,3, valores esses inferiores quando comparados com os dados dessa pesquisa. Segundo Silva *et al.*, (2022). Alguns fatores podem influenciarem significativamente no teor de sólidos solúveis tais como: condições edafoclimáticas da região, estágio de maturação dos frutos, quantidade de água adicionada durante o processamento para a retirada da polpa do fruto etc.

Na determinação de pH os resultados variaram de 3,97 a 4,60 a Instrução Normativa nº 37, de 1º de outubro de 2018, dispõe uma margem de pH na faixa entre 4,00 a 6,20, desta forma a polpa X encontra-se em desacordo com a legislação. Esse baixo valor pode ser justificado em decorrência da presença de ácidos orgânicos que são

componentes determinantes na formação de diversas propriedades das frutas e pode contribuir para a variação do pH e fatores edafoclimáticos (Santos *et al.*, 2014),

Em relação às análises de acidez as duas marcas avaliadas apresentaram valores 0,05g a 0,10g em 100g de amostra, estando de acordo com a legislação. Segundo Oliveira *et al.*, 2014, relata que a utilização de frutos com diferentes estágios de maturação pode favorecer em parte, os resultados obtidos em relação a algumas características físico-químicas exigidas pela legislação, como sólidos solúveis e acidez.

Nesta pesquisa foi possível observar que a polpa X apresentou valor para sólidos totais de 10,43 e a polpa Y 8,04 (g/100g). A legislação brasileira classifica polpa de açaí de acordo com teor de sólidos totais: 14% açaí grosso ou especial (tipo A), 11 à 14% açaí médio ou regular (tipo B) e 8 à 11% açaí fino ou popular (tipo C) (Brasil, 2000). Desta forma é possível observa que as duas marcas avaliadas nas pesquisas são classificadas com tipo C.

Os valores para sólidos totais variaram de entre 8,04 a 10,43. A legislação brasileira estabelece que a polpa de açaí apresente os sólidos totais entre 11 e 14% (Brasil, 2000). Portanto, as marcas de açaí avaliadas apresentaram valores inferiores (9,19 a 10,91) (Tabela2) ao padrão imposto pela legislação, supondo que houve adição de água às polpas.

CONCLUSÃO

As amostras avaliadas no presente estudo apresentaram resultados satisfatórios na determinação microbiológica, isso mostra que as polpas são processadas corretamente sem comprometer a saúde do consumidor. Em relação a caracterização físico-química a maioria dos parâmetros estão de acordo com a legislação, com exceção para a determinação de pH que teve um valor abaixo do preconizado pela legislação. É de suma importância realizar as determinações microbiológicas e físico-químicas, afim de verificar a procedência das polpas.

REFERENCIAS

ABRAFRUTAS. Associação Brasileira de Produtores e Exportadores de Frutas e Derivados, 2022. Disponível em: <https://abrafrutas.org/2019/08/acai-a-pequena-fruta-que-movimenta-milhoes-na-economia-paraense/>. Acesso em: 28 de fevereiro de 2023.

Almico, J. D., Ferreira, I. M., Ramos, G. D., Silva, A. M. O. & Carvalho, M. G. (2018). Avaliação da qualidade microbiológica, físico-química e química de polpas de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) pasteurizadas congeladas comercializadas em Aracaju-SE. *Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal*, 12, (2), 156-168.

ANDRADE, J. K. S. Qualidade microbiológica de polpas de açaí comercializadas em um estado do nordeste brasileiro. *Braz. J. of Develop.*, Curitiba, v. 6, n. 3, p. 12215-12227 mar. 2020.

Apha. American Public Health Association. Committee on microbiological methods for foods. *Compendium of methods for the microbiological examination of foods*. 4 ed. Washington: APHA, 2001. 676p.13.

BRASIL. Instrução Normativa nº 01, de 07 de janeiro de 2000. Regulamento Técnico Geral para fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para Polpa de Fruta (e Suco de Fruta). *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 07 de jan. 2000

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução Normativa n. 1 de 07 de janeiro de 2000. Aprova o Regulamento técnico geral para fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpa de fruta. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*. Brasília, DF, 10 de jan. 2000. Seção 1, n. 6, p. 54-8.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Decreto nº 6.871, de 4 de Julho de 2009. Dispõe sobre a padronização, a classificação, o 26 registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*. Brasília, DF, 25 de fev. 2023. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegisconsulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=1012>> Acesso em: 25 feve. de 2023.

COSTA, C. M; YAMAGUCHI, K. K. L. Contaminação e adulteração de açaí. *Tecnologia de Alimentos: Tópicos Físicos, Químicos e Biológicos*, V.2, 2020.

DA SILVA, A. D. C. D.; SMIDERLE, O. J.; DE OLIVEIRA, J. M. F.; DE JESUS SILVA, T. Tamanho da semente e substratos na produção de mudas de açaí. *Advances in Forestry Science*, v. 4, n. 4, p. 151-156, 2018.

DA SILVA, Reginaldo Ferreira *et al.* Qualidade nutricional e padrão microbiológico da polpa de açaí comercializada nas feiras livres dos Municípios do Estado do Acre, Brasil. *Brazilian Journal of Development*, v. 8, n. 5, p. 40195-40212, 2022.

DA SILVA, Reginaldo Ferreira *et al.* Qualidade nutricional e padrão microbiológico da polpa de açaí comercializada nas feiras livres dos Municípios do Estado do Acre, Brasil. *Revista Brasileira de Desenvolvimento*, v. 8, n. 5, pág. 40195-40212, 2022.

Fechine Neto, J. L., Calou, V. C. R., Silva, J. R. A., & Mendes, R. C. (2016). Perfil microbiológico de amostras de polpas de frutas congeladas, comercializadas na cidade de Missão Velha-CE. *Caderno de Cultura e Ciência*, 15 (1), 37-56.

FERREIRA, Mikaella Cavalcante *et al.* Pesquisa de sujidades, avaliação físico-química e de rotulagem das polpas de açaí (*Euterpe Oleracea*) comercializadas no Recife-PE. *BrazilianJournalofDevelopment*, v. 7, n. 7, p. 74533-74550, 2021.

FRANCO, B.D.G.M; LANDGRAF, M. Microbiologia dos Alimentos. São Paulo: ATHENEU, 2005.

FREITAS, B. Características Físico-químicas, Bromatológicas, Microbiológicas e Microscópicas de Polpas de Açaí (*Euterpe oleraceae*) Congeladas do Tipo B. *JournalofAppliedPharmaceuticalSciences – JAPHAC*, v. 2, n. 2, p. 2-13, 2015.

JONES, L. C.; LEMES, R. M. L. Análise microbiológica de polpas de açaí comercializadas em uma cidade do sul de Minas Gerais. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, v. 12, n. 2, p. 601-608, 2014

NEVES, LEANDRO TIMONI BUCHDID CAMARGO *et al.* Qualidade de frutos processados artesanalmente de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) e bacaba (*Oenocarpus bacaba* Mart.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 37, p. 729-738, 2015.

PORTINHO, José Alexandre; ZIMMERMANN, Livia Maria; BRUCK, Mirian Rotnes. Efeitos benéficos do açaí. *Internationaljournalofnutrology*, v. 5, n. 01, p. 015-020, 2012.

Rogez H. Açaí: preparo, composição e melhoramento da conservação. 1ª ed. Belém: Edufpa; 2000. p. 313, 2009.

Santos, B. A *et al.* (2016). Análise microbiológica de polpas de açaí comercializadas na cidade de São Paulo. *Revista Brasileira de Análises Clínicas*, 48, (1), 53-7

Santos, F. N. & Romão, N. F. (2017). Avaliação microbiológica e parasitológica de polpas de açaí comercializadas na cidade de Ji-Paraná –RO. *SaBios –Revista de Saúde e Biologia*, 12, (2), 27-32

SANTOS, J. S.; SANTOS, M. L. P.; AZEVEDO, A. S. Validação de um método para determinação simultânea de quatro ácidos orgânicos por cromatografia líquida de alta eficiência em polpas de frutas congeladas. *Química Nova*, São Paulo, v. 37, n. 3, p. 540-544, 2014.

SANTOS, M. C. N. dos.; FURTADO, S. C. Alterações físico-químicas em polpa de açaí comercializada em duas feiras-livres da cidade de Manaus-AM. *Amazônica de Saúde. Revista Científica da Fametro*, v. 1, n. 1, jan./jun 2016

Santos, R. E., & Vieira, P. P. F. (2020). Avaliação da qualidade microbiológica de polpas de frutas artesanais produzidas e comercializadas nos mercados públicos do município de João Pessoa. *BrazilianJournalofDevelopment*, 6 (9), 72847-72857.

SILVA, A. K. N.; BECKMAN, J. C.; RODRIGUES, A. M. C.; SILVA, L. H. M. Avaliação da composição nutricional e capacidade antioxidante de compostos bioativos da polpa de açaí. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, Ponta Grossa, v. 11, n. 1, p. 2205-2216, jan./jun. 2017.

Silva, C. E. F., Moura, E. M. O., Andrade, F. P., Gois, N. S. B., Silva, I. C. C., Silva, L. M. O., Souza, J. E. A., & Abud, A. K. S. (2016). The Importance of monitoring the identity and quality standards in fruit pulp industry. *Journal of Bioenergy and Food Science*, 3 (1), 17-27

Silva, T. B. D., Martins, V. S., Pereira, J. M. C., Brasil, L. S. N. S., & Silva, S. M. R. (2020). Análise microbiológica de polpas de frutas industrializadas comercializadas em supermercado em Belém do Pará. *Revista Univap*, 26 (50), 36-46.

Soumanou, A. G. Avaliação do potencial funcional de uma bebida contendo extrato de açaí rico em antocianinas, 2016. Disponível em:

<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsbas&AN=edsbas.46CD9903&lang=pt-br&site=eds-live&scope=site>. Acesso em: 2 feve.2023

Sousa, Y. A., Borges, M. A., Viana, A. F. S., Dias, A. L., Sousa, J. J. V., Silva, B. A., Silva, S. K. R., & Aguiar, F. S. (2020). Avaliação físico-química e microbiológica de polpas de frutas congeladas comercializadas em Santarém-PA. *Brazilian Journal of Food Technology*, 23, e2018085.

Souza, A. B. N.; Gomes, M. A. S. Análise microbiológica da polpa de açaí comercializada em feiras livres na cidade Porto Velho/RO. *Revista Saber Científico*, 2019.

CAPÍTULO 03

DOI:10.29327/5586690.1-3

ESTUDO COMPARATIVO DE PROCESSOS BIOTECNOLÓGICOS UTILIZANDO A ENZIMA LACTASE PARA A PRODUÇÃO DE SORVETES

COMPARATIVE STUDY OF BIOTECHNOLOGICAL PROCESSES USING THE ENZYME LACTASE FOR THE PRODUCTION OF ICE CREAM

Camile de Melo Silva Nascimento
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Iris da Silva Moura
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Joyce Emanuely de Lira Canuto
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Karina Barbosa dos Santos
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Paula Andreza Santana da Paz
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Liderlânio de Almeida Araújo
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Gerla Castello Branco Chinelate
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

RESUMO

O leite, essencial em muitas culturas por seu valor nutritivo, apresenta desafios para cerca de 75% da população mundial devido à dificuldade em digerir lactose, causada pela baixa produção da enzima lactase. Para atender a essa demanda, a indústria de laticínios desenvolveu produtos com baixo teor ou isentos de lactose, utilizando lactase para modificar o sabor e permitir o consumo de produtos como sorvetes por intolerantes à lactose. Nesse sentido, o referido estudo consistiu em uma revisão de literatura a qual analisou artigos nas bases Google Acadêmico, MDPI e Periódico da Capes, utilizando termos como "intolerância à lactose", "lactase" e "sorvete", abrangendo publicações de 2014 a 2024. Após revisar 267 trabalhos, 27 foram lidos na íntegra e 8 selecionados. Os estudos mostram que a lactase melhora o sabor e a textura dos sorvetes, e produtos como leite UHT sem lactose oferecem boas propriedades sensoriais, embora ainda haja necessidade de melhorias na textura e cor. A otimização enzimática e o desenvolvimento de produtos com menos calorias e gorduras respondem às demandas de saúde. Sorvetes hidrolisados são uma alternativa para intolerantes moderados, sendo recomendado continuar a exploração de novas técnicas e ingredientes para aprimorar a aceitação dos produtos. Este estudo apresenta uma análise criteriosa da literatura sobre a aplicação da lactase na fabricação de sorvetes sem lactose, destacando benefícios, desafios e como a ausência da lactose impacta no sabor, textura, cor e aceitação do público.

PALAVRAS - CHAVE: β -Galactosidase; Zero Lactose; Leite UHT.

INTRODUÇÃO

O leite é amplamente conhecido por suas propriedades altamente nutritivas, sendo um alimento fundamental em diversas culturas, por ser uma fonte rica em proteínas, e componentes funcionais, ao qual desempenha papéis importantes na fisiologia do corpo humano, principalmente nas primeiras fases da vida (Zatta; Benetti, 2022). Entre esses componentes, destacam-se as vitaminas E e C, que são essenciais para a manutenção da saúde celular e imunológica, além disso, possui antioxidantes como os carotenóides e flavonóides (Noviatri; Setianingrum; Haskito, 2020). Com o progresso tecnológico na fabricação, a indústria de laticínios tem desenvolvido uma variedade de produtos derivados do leite, que atendem às diferentes necessidades nutricionais e preferências dos consumidores (Guimarães *et al.*, 2020).

Essa versatilidade é atribuída às suas propriedades funcionais e nutricionais, que permitem a criação de alimentos como iogurtes, queijos, sorvetes, manteiga, creme de leite e doces devido às suas diversas texturas, sabores e valores nutricionais, e por essa razão é tão utilizado na indústria alimentícia (Tuzzi *et al.*, 2021). Quimicamente, é composto por água, proteínas, gorduras, lactose, vitaminas e minerais, sendo 87%

constituído de água, proporcionando um meio para a dissolução e dispersão dos outros componentes (Venturini; Sarcinelli; Silva, 2007).

As proteínas, predominantemente caseína, são essenciais para a estrutura e funcionalidade dos produtos lácteos, enquanto as gorduras contribuem para a textura e o sabor. Além disso, o leite tem uma fonte significativa de vitaminas, como A, D, B12 e riboflavina, e minerais, como cálcio, fósforo e potássio, que são essenciais para a saúde humana. (Delgado; Siqueira; Stock, 2020).

Delgado e colaboradores (2020), ainda ressaltam que a lactose é um dos principais componentes do leite, sendo um dissacarídeo composto por glicose e galactose, principal fonte de carboidratos, ao qual desempenha funções fundamentais em processos tecnológicos que envolvem a acidificação do leite, como, na produção de iogurtes e queijos maturados, além de auxiliar na absorção de vários sais minerais, incluindo cálcio, magnésio e zinco. A hidrólise da lactose, utilizando a enzima β -galactosidase [lactase. β -D- Galactosidasegalactohidrolase, EC 3.2.1.23], dá origem a uma mistura isomolecular de glicose e galactose nas condições ideais para a atividade dessa enzima, mantendo um rígido controle sobre a temperatura, pH, tempo de reação e concentração da enzima (Grossová; Rosenberg; Rebros, 2008).

O grande potencial da utilização dessa enzima reside nos processos biotecnológicos na indústria de alimentos, por promover diversos benefícios e vantagens, para produtos com baixo teor de lactose, melhoria da qualidade sensorial de produtos lácteos e produção de prebióticos, como os galactooligosacarídeos. (Carminatti, 2001; Santiago *et al.*, 2004; Oliveira, 2005). Entretanto, aproximadamente 75% da população mundial apresenta algum grau de perda da capacidade de digerir a lactose. Esse problema ocorre quando o organismo não produz ou fornece de forma insuficiente a enzima lactase, responsável pela hidrólise da lactose, resultando na fermentação da lactose não digerida no intestino e causando sintomas desagradáveis como gases, inchaço, dores abdominais e diarreia, o que resulta em um diagnóstico preciso de intolerância à lactose (Tuzzi *et al.*, 2021; Claudino *et al.*, 2022).

Neste contexto, a indústria alimentícia tem se empenhado em desenvolver novos produtos lácteos com baixo teor de lactose ou zero lactose, aumentando a diversidade para indivíduos com tolerância. Esses produtos, sem lactose são obtidos a partir da adição da enzima lactase ao leite, procedimento que mantém as características nutritivas do leite, apenas as sensoriais, uma vez que a quebra da lactose em glicose e galactose deixa o leite

com sabor mais adocicado (Claudino *et al.*, 2022). As sobremesas derivadas do leite como os sorvetes, em geral, são bem aceitas e muito consumidas por pessoas de todas as idades devido ao seu efeito refrescante e sabor agradável. O sorvete é produzido através de uma emulsão com gotículas de gordura, proteínas e cristais de gelo dispersos em uma fase aquosa que é agitada constantemente durante o congelamento para a incorporação de ar (Vital *et al.*, 2018).

Essa emulsão é formada a partir de água, produtos lácteos, lipídeos, açúcar, estabilizante, corante, emulsificante e ingredientes como polpas de frutos e sementes de inúmeras espécies, desde que não altere o produto e mantenha suas características durante e após o congelamento (Almeida, 2016; Silva *et al.*, 2021). A Resolução RDC nº 266 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária define sorvete ou gelado comestível como um produto alimentício obtido a partir de uma emulsão de gordura e protelhas, com ou sem adição de outros Ingredientes e substâncias, ou de uma mistura de água, açúcares e outros ingredientes e substâncias que tenham sido submetidas ao congelamento, em condições tais que garantam a conservação do produto no estado congelado ou parcialmente congelado, durante a armazenagem, o transporte e a entrega ao consumo (Brasil, 2005).

As etapas da elaboração de sorvetes variam de acordo com a técnica escolhida, sendo de uma forma geral agrupadas em três etapas fundamentais: (1) mistura dos ingredientes e seu aquecimento, seguida de pasteurização; (2) congelamento após a homogeneização com o propósito de aerar a mistura; (3) endurecimento, estágio em que a água não congelada do sorvete se deposita sobre os cristais de gelo (Santos, 2009; Pereira, 2014). Assim, é importante realizar pesquisas que avaliem a eficácia da adição de lactase na produção de sorvetes, tanto do ponto de vista nutricional quanto sensorial. A utilização da lactase na formulação de sorvetes não apenas possibilita o consumo deste produto por indivíduos com intolerância à lactose, mas também pode melhorar algumas características sensoriais, como a doçura, devido à quebra da lactose em glicose e galactose. Assim, diante do exposto, o presente plano de trabalho propõe avaliar a eficácia da adição da lactase na produção de sorvetes, tanto do ponto de vista nutricional quanto sensorial.

Leite

Segundo a legislação brasileira entende-se por leite o produto oriundo da ordenha completa e ininterrupta, em condições de higiene, de vacas sadias, bem alimentadas e descansadas (Brasil, 2002). O Brasil detém a quarta colocação entre os produtores mundiais de leite e a primeira entre os países da América do Sul. O leite encontra-se ainda

entre os seis produtos mais importantes da agropecuária brasileira, à frente inclusive de commodities tradicionais como café e suco de laranja (Faostat, 2017). Desta forma, no Brasil, o leite desempenha papel relevante para a população como alimento, gerando emprego e contribuindo para a renda (Costa; Queiroga; Pereira, 2009).

O leite é um alimento de grande importância na alimentação humana, devido ao seu alto valor nutricional. Como fonte de proteínas, lipídios, carboidratos, minerais e vitaminas, têm valioso papel no crescimento do indivíduo como um todo e fortalecimento de ossos e dentes, muitas vezes considerado indispensável para a saúde (Venturini; Sarcinelli; Silva, 2007). Visto que o Brasil ainda é um grande importador de produtos lácteos (Epagri, 2017). Cabe ressaltar que a importação destes produtos ocorre devido às exigências de consumidores, que consequentemente irão pautar mudanças na estratégia de pesquisas e produção. Sendo assim, para suprir a demanda interna de produtos, ainda há muito potencial para a produção leiteira no Brasil, principalmente no que diz respeito à produção de derivados lácteos sem lactose.

Intolerância à lactose

A lactose conhecida como “açúcar do leite”, é produzida na glândula mamária da maioria dos mamíferos, com a concentração variando entre as espécies, sendo cerca de 7% no leite humano e aproximadamente 5% no leite de vaca (Corozolla; Rodrigues, 2016). A lactose é um dissacarídeo composto por uma molécula de betagalactosidade aderida a uma molécula de glicose por uma ligação beta-1,4 e é produzida mediante uma reação que depende de duas proteínas, a alfa-lactoalbumina e a enzima N-acetil-galactosiltransferase (Corozolla; Rodrigues, 2016; Delgado; Siqueira; Stock, 2020).

Quando ingerida, a enzima lactase, presente na superfície apical dos enterócitos, hidrolisa a lactose em dois monossacarídeos: glicose e galactose, que em condições ideais seriam absorvidos pelos enterócitos (Ramos, 2016; Corozolla; Rodrigues, 2016). No entanto, quando não digerida aumenta a osmolaridade local, atraindo água e eletrólitos para a mucosa, causando diarreia. Essa pressão osmótica dilata o intestino e acelera o trânsito intestinal, resultando na má absorção (Corozolla; Rodrigues, 2016).

Consequentemente, a lactose não hidrolisada é fermentada por bactérias anaeróbias, resultando na produção de propionato, acetato e butirato, levando a um

diagnóstico de intolerância à lactose (Corozolla; Rodrigues, 2016). A intolerância à lactose é uma condição ao qual incapacita a ingestão parcial ou total da lactose, resultando em sintomas desagradáveis como gases, inchaço, dores abdominais e diarreia (Claudino, *et al.*, 2022). Aproximadamente 75% da população mundial sofre de algum grau de intolerância à lactose, sendo mais comum em adultos, devido a idade, genética ou fisiológica (Tuzzi *et al.*, 2021; Claudino *et al.*, 2022; Branco *et al.*, 2017).

Essa condição muitas vezes é confundida com alergia, pois ambas podem apresentar sintomas semelhantes (Cunha *et al.*, 2008). Contudo, o que as diferem são as reações no mecanismo fisiológico, no caso da alergia é uma resposta imunológica desencadeada pelas proteínas presentes no leite e em seus derivados, como a caseína, lactoglobulina, lactoalbumina, soroalbumina e imunoglobulinas. Já a intolerância é causada pela deficiência na enzima lactase, podendo variar de acordo com seu grau de intolerância que pode ser primária, secundária ou congênita (Branco *et al.*, 2017).

Lactase

A β -galactosidase (EC 3.2.1.23), ou lactase, está presente no intestino de mamíferos e em microrganismos, e é responsável pela hidrólise da lactose em seus monossacarídeos constituintes, D-galactose e D-glicose, que após são absorvidos e levados para a corrente sanguínea (Dekker; Daamen, 2011; Swaisgood, 2010). A hidrólise da lactose pôr a enzima lactase, é preferível à abordagem química, já que mantém condições suaves de temperatura e pH, evitando a formação de subprodutos que afetam o sabor, odor e cor dos produtos. Adicionalmente, as propriedades nutricionais dos laticínios permanecem inalteradas (Santos *et al.*, 1998; Ladero *et al.*, 2002).

Com o crescimento da intolerância à lactose entre a população, a procura por alimentos com reduzido teor de lactose ou lactose hidrolisada tem aumentado significativamente ao longo do tempo. Após a realização da quebra da lactose, a solubilidade e digestibilidade do leite e seus derivados tornam-se adequados para consumo por pessoas intolerantes ou sensíveis ao carboidrato (Santiago *et al.*, 2004). O emprego da enzima na fabricação de doce de leite, sorvetes e leite condensado também proporciona melhora na textura do produto, já que evita a cristalização da lactose (Klein, 2010).

Sorvete

Segundo a resolução a Resolução RDC nº 266 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, o sorvete ou gelado comestível é definido como "um produto alimentício obtido a partir de uma emulsão de gordura e proteínas, com ou sem adição de outros ingredientes e substâncias, ou de uma mistura de água, açúcares e outros ingredientes e substâncias que tenham sido submetidas ao congelamento, em condições tais que garantam a conservação do produto no estado congelado ou parcialmente congelado, durante a armazenagem, o transporte e a entrega ao consumo" (Brasil, 2005).

Esta mistura considerada complexa é normalmente produzida, congelando e superdimensionando a mistura que pode conter leite integral homogeneizado e pasteurizado (contendo 2,5% de gordura, 8% de sólidos de leite desnatado), gorduras, açúcar (17–20%), estabilizantes e emulsionantes, agentes aromatizantes (0,3%), ácidos, corantes e ingredientes aromatizantes (Marshall *et al.* 2003) e mantido a uma temperatura máxima de armazenamento de -18 °C, a qual deve ser mantida no produto. Quando o produto é exposto à venda, é tolerada a temperatura de -12 °C no produto (Souza, *et. al.*, 2010).

No entanto, do ponto de vista físico-químico, o sorvete é constituído de maneira concisa, 10 a 17% de gordura, 8 a 12% de extrato seco desengordurado 12 a 17% de açúcares ou adoçantes, 0,2 a 0,5% de estabilizantes e emulsificantes e 55 a 65% de água. Cada componente contribui em aspectos particulares nas características do produto final (Pazianotti *et al.*, 2010; Pereira, 2014). A mistura do sorvete consiste na combinação dos ingredientes inicialmente pesados e dosados de acordo com sua formulação, partindo para o aquecimento e agitação. É importante que os componentes secos sejam previamente misturados entre si para evitar a formação de grumos (Silva, 2012; Santos, 2009).

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo consiste em uma revisão de literatura com foco na aplicação da enzima lactase na fabricação de sorvetes sem lactose. Para identificação dos artigos relevantes, foi realizada uma busca abrangente nas seguintes bases de dados: Google

Acadêmico, MDPI (Multidisciplinary Digital Publishing Institute) e Periódico da Capes. A busca foi conduzida utilizando os descritores: "intolerância à lactose", "lactase" e "sorvete". Foram incluídos nas pesquisas artigos científicos publicados nos últimos 10 anos (2014-2024), nas línguas inglesa e portuguesa. Como critério de exclusão, optou-se por artigos não relacionados ao tema da revisão, duplicata e publicações fora do período estabelecido. Do total de 267 trabalhos, restaram 185 para leitura dos resumos e, finalmente, 27 para a leitura completa. Desses 27, apenas 13 apresentaram relevância, porém somente oito atendiam os critérios de inclusão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise criteriosa dos artigos selecionados permitiu identificar 13 artigos dentre esses apenas 8 artigos estudos atenderam ao critério de inclusão, especificamente aqueles que apresentavam resultados referentes à aplicação da enzima lactase em sorvetes. Esses artigos constituem a amostra final do estudo, fornecendo a base para a revisão da literatura focada na relevância da lactase e na produção de sorvetes sem lactose. Inicialmente os artigos enfatizam o conceito do leite, sorvete e lactose, e como a ausência da lactose impacta no sabor, textura, cor e aceitação do público. No quadro 1, foram apresentados os principais dados dos artigos selecionados, destacando os resultados e conclusões, permitindo uma visão comparativa e detalhada dos artigos revisados.

Quadro 01: Análise comparativa da adição de lactase em sorvetes.

Título	Objetivo	Resultados	Conclusão	Referência
Elaboração e avaliação sensorial de sorvete diet e sem lactose de mangaba endêmica do Cerrado	Elaborar um sorvete de mangaba sem lactose e diet.	Acidez obteve 0,11mg ácido cítrico/100g. O Sst apresentou 24 ° Brix e o pH 6,27.	A produção de sorvetes de mangaba com leite UHT, foi bem aceita pelos provadores, incluindo sua formulação sem lactose e diet, mesmo a diferença sendo perceptível.	Almeida <i>et al.</i> , 2016.

Influências da hidrólise da lactose do leite e da redução de açúcar em algumas propriedades físicas de sorvetes	Estudar as influências da hidrólise da lactose do leite fresco em vários níveis, bem como da redução do teor de açúcar do sorvete de baunilha.	O ponto de congelamento foi de -2,5°C com lactase, a densidade 1,085 g/cm ³ , a viscosidade variou entre 215 a 261 mPa.s, a hidrólise não teve efeito na acidez da mistura.	A hidrólise da lactose no leite fresco aumentou a viscosidade aparente, diminuindo o ponto de congelamento das misturas de sorvete. Além disso, aumentou a doçura e consequentemente pode melhorar a aceitabilidade geral dos sorvetes congelados.	Abbasi; Saeedabad in, 2013.
Produção de Sorvete a partir de Leite UHT Sem Lactose	Pesquisar o efeito da qualidade do sorvete sem lactose no leite UHT.	O pH variou entre 6,28 e 6,42, viscosidade entre 23,21 e 26,42 Pa.s, a lactose entre 0,11 e 0,16, cor 8,50, textura 7,66, sabor 7,33 e aceitação 7,16.	O índice de desestabilização da gordura foi maior nas amostras simples em comparação com as que tinham adição de cacau. A viscosidade dos sorvetes variou de 23,21 a 26,42 Pa.s. Os sorvetes sem lactose apresentaram viscosidade superior aos de controle, e a proporção de glicose variou entre 1,20% e 1,60%.	Özdemir1 <i>et. al.</i> , 2018.
Aceitação do sorvete sem lactose: um estudo baseado em características sensoriais e análise de	Investigar a aceitação do sorvete sem lactose produzido no Laboratório de Análise Sensorial do	Textura das amostras foram entre -0,15 a -0,85, sabor em entre -0,62 a 0,58 e cor em -0,62 a 0,40.	Os resultados mostraram que as variáveis sabor e avaliação global foram as mais bem avaliadas pelos consumidores. Já as variáveis textura e cor precisam ser aperfeiçoadas.	Andrade <i>et. al.</i> , 2018.

componentes principais	CEFET/RJ.			
Propriedades funcionais de sorvete de morango diet com adição da enzima lactase e transglutaminase otimizada através da metodologia de superfície de resposta	Determinar as melhores condições de processo (concentração/temperatura) de atuação da enzima lactase e transglutaminase utilizando a metodologia de superfície de resposta como ferramenta matemática e estatística.	O Sst apresentou, entre 26° a 35,66° Brix; o teor de gordura ficou entre 8 a 11%, proteína entre 3,40 a 7,90%; as cinzas entre 1,46 a 3,33%; pH entre 6,12 a 6,34; a cor variou de 3,1 a 3,7; o aroma ficou entre 2,9 a 4,0; o sabor ficou 2,9 a 3,8; e a aceitabilidade entre 68,22 a 86,58%.	A melhor hidrólise da lactase foi obtida com concentrações menores de enzima lactase e transglutaminase na temperatura de 40 C.	Pereira, 2014.
Elaboração de sorvete de abacaxi (ananascomosus) com hortelã (mentha) sem lactose	Elaborar e analisar sensorialmente um sorvete de abacaxi com hortelã sem lactose.	Carboidrato ficou em torno de 66,8 g, as proteínas 8,0g, já as gorduras totais ficaram de 28,1g, as fibras 0,3g e valor calórico total 552,1 Kcal/100g	Apresentou ótima aceitação pelos avaliadores, em que a maioria afirmou ter gostado do produto e que certamente o comprariam, demonstrando que o mesmo pode ser comercializado pela indústria.	Freitas <i>et. al.</i> , 2018.

Desenvolvimento e caracterização de sorvete light isento em lactose sabor araticum	Desenvolver um sorvete sabor araticum isento em lactose e com teor reduzido em calorias e gorduras.	Umidade obteve, 69,80g, as proteínas 1,22g, as cinzas 0,55, pH 4,50, lactose 0, carboidratos 25,34g e lipídeos 2,82g	Não foi detectada a presença de lactose no sorvete e o mesmo pode ser considerado light em calorias e gorduras, pois, apresentou uma redução maior que 25% desses parâmetros em relação aos produtos de referência	Claudino <i>et al.</i> , 2022.
Desenvolvimento de sorvete com lactose hidrolisada adicionado de lactobacillus acidophilus	Avaliar o efeito da hidrólise da lactose sobre as características físico químicas dos produtos desenvolvidos, comparando-os com o sorvete controle (sem hidrólise).	pH 6,58, acidez total titulável 0,15, umidade 78,64, gordura 8,20, proteína 3,71, cinzas 0,83 e carboidratos 8,62.	O sorvete hidrolisado é uma alternativa na alimentação de pessoas que possuam intolerância secundária, porém não deve ser consumido por pessoas que possuam um alto grau de deficiência da lactose, como a deficiência congênita e primária, visto que ainda restam 44% da lactose sem hidrólise.	Chiquetti, 2014.

Fonte: Autores, 2024.

Os estudos feitos por Almeida *et al.*, (2016), revelam que frutas típicas, como a mangaba, podem ser incorporadas com sucesso em sorvetes sem lactose e dietéticos, ampliando a variedade de sabores e valorizando os produtos locais. A receptividade positiva indica um potencial mercado para esses produtos. Por sua vez, a pesquisa de Abbasi e Saeedabadian (2013), destaca que a quebra da lactose pode aprimorar as características sensoriais dos sorvetes, como a consistência e o sabor, resultando em produtos mais agradáveis ao paladar. Esse aspecto é especialmente relevante para consumidores que buscam sorvetes mais cremosos e doces, sem excesso de açúcar.

Segundo Özdemir *et al.*, (2018), a utilização de leite UHT sem lactose resultou em sorvetes com boas propriedades sensoriais e físicas, indicando que esse tipo de leite é uma base viável para a produção de sorvetes sem lactose. A aceitação elevada sugere que os

consumidores estão abertos a esses produtos, o que pode impulsionar a produção em larga escala. Apesar da boa aceitação geral, Andrade *et. al.*, (2018), apontam que a textura e a cor dos sorvetes sem lactose precisam ser aprimoradas. Investir em melhorias nesses aspectos pode aumentar ainda mais a satisfação dos consumidores e promover maior competitividade no mercado.

Pereira (2014), destaca a importância da otimização das condições enzimáticas para aprimorar as propriedades sensoriais e a aceitação dos sorvetes dietéticos e sem lactose, fornecendo um guia valioso para a indústria na formulação desses produtos. Segundo a pesquisa de Claudino *et. al.*, (2022), produtos com menos calorias e gorduras, e sem lactose, atendem a uma dupla demanda de consumidores preocupados com a saúde, o que aumenta o apelo comercial. A inclusão de frutas locais também agrega valor aos produtos regionais. Conforme Chiquetti (2014), embora não seja totalmente isento de lactose, o sorvete hidrolisado representa uma alternativa significativa para consumidores com intolerância moderada. Isso amplia as opções de consumo para pessoas com diferentes níveis de intolerância à lactose.

Por fim, o estudo de Freitas *et. al.*, (2018), ressalta a necessidade de continuar a pesquisa nesse campo. As análises realizadas indicam que é possível aprimorar a elaboração de sorvetes sem lactose para garantir características físico-químicas adequadas e aceitação sensorial satisfatória. A variação de fatores como pH, viscosidade, teor de sólidos solúveis e composição nutricional ressalta a necessidade de ajustes específicos de acordo com o tipo de sorvete e o público-alvo. A introdução de novas técnicas com enzimas e ingredientes locais, juntamente com a consideração das propriedades sensoriais, são essenciais para o sucesso desses produtos no mercado.

CONCLUSÃO

Os estudos analisados indicam uma tendência crescente e diversificada na produção de sorvetes sem lactose e na incorporação de frutas locais, como a mangaba, araticum e abacaxi, que não só valorizam os produtos regionais, mas também aumentam a gama de variedades de sabores disponíveis. A técnica de quebra da lactose é fundamental para melhorar a consistência e o sabor dos sorvetes.

Esse processo sem lactose é particularmente significativo para consumidores que optam por sorvetes mais cremosos e com sabor adocicado sem o uso excessivo de açúcar. A utilização do leite UHT sem lactose como base para esses produtos sugere que a aceitação dos consumidores pode incentivar a produção em larga escala. As melhorias na textura e cor dos sorvetes sem lactose são essenciais para atender às expectativas dos consumidores. Isso ressalta a necessidade de mais pesquisas e desenvolvimento na indústria, com o objetivo de criar novos produtos com essa ênfase.

REFERÊNCIAS

- ABBASI, Soleiman; SAEEDABADIAN, Arman. Influences of lactose hydrolysis of milk and sugar reduction on some physical properties of ice cream. *Journal of Food Science and Technology*, v. 52, p. 367-374, 2013.
- ALMEIDA, A. B. S.; FERREIRA, A. C.; BARBOSA, T. A.; SIQUEIRA, A. P. S.; SOUZA, E. R. B. Elaboração e avaliação sensorial de sorvete diet e sem lactose de mangaba endêmica do cerrado. *Revista de Agricultura Neotropical*, v. 3, n. 3, p. 38-41, 2016.
- ANDRADE, Vinicius Sampaio *et al.* ACEITAÇÃO DO SORVETE SEM LACTOSE: UM ESTUDO BASEADO EM CARACTERÍSTICAS SENSORIAIS E ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS. *Revista do Seminário Internacional de Estatística com R* | ISSN: 2526-7299, v. 3, n. 1, 2018.
- ANDRADE, Vinicius Sampaio *et al.* ACEITAÇÃO DO SORVETE SEM LACTOSE: UM ESTUDO BASEADO EM CARACTERÍSTICAS SENSORIAIS E ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS. *Revista do Seminário Internacional de Estatística com R* | ISSN: 2526-7299, v. 3, n. 1, 2018.
- BIANSINI, K. B.. Uso da enzima lactase comercial visando a redução do teor de lactose em leites Ultra High Temperature (UHT) com diferentes teores de gordura. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Santa Catarina.
- BOSSO, A. *et al.* β -Galactosidase Production Using Cheese Whey. *UNICIÊNCIAS*, v. 23, n. 1, p. 31-37, 2019.

BRANCO, M. S. C. *et al.* Classificação da intolerância à lactose: uma visão geral sobre causas e tratamentos. *Revista de Ciências Médicas*, v. 26, n. 3, p. 117-125, 2017.

BRASIL Ministério da Agricultura Agência de Vigilância Sanitária. Regulamento de gelados comestíveis e preparados para gelados comestíveis. Resolução RDC nº 266, de 22 de setembro de 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Regulamentos técnicos de produção, identidade e qualidade do leite tipo A, do leite tipo B, do leite tipo C, do leite pasteurizado e do leite cru refrigerado e o regulamento técnico da coleta de leite cru refrigerado e seu transporte a granel. Instrução Normativa nº 51, de 18 de setembro de 2002.

CARMINATTI, C. A. Ensaio de hidrólise enzimática da lactose em reator a membrana utilizando beta-galactosidase *Kluyveromyces lactis*. 79p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC. 2001.

CHIQUETTI, R. L.. Desenvolvimento de sorvete com lactose hidrolisada adicionado de *Lactobacillus acidophilus*. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Leite e Derivados). UNOPAR, Unidade Piza, Centro de Pesquisa em Ciências Agrárias.

CLAUDINO, C. F. *et al.* Desenvolvimento e caracterização de sorvete light isento em lactose sabor araticum. In: CIÊNCIAS AGRÁRIAS: O AVANÇO DA CIÊNCIA NO BRASIL-VOLUME 3. Editora Científica Digital, 2022. p. 259-269.

COROZOLLA, W. ; RODRIGUES, A. G. Intolerância à Lactose e Alergia à Proteína do Leite de Vaca. E o desafio de como diferenciá-las. 2016.

COSTA, R. G.; QUEIROGA, R. D. C. R. E.; PEREIRA, R. A. G. Influência do alimento na produção e qualidade do leite de cabra. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 38, n. SUPPL. 1, p. 307–321, 2009.

DA CUNHA, M. E. T. *et al.* Intolerância à lactose e alternativas tecnológicas. *Journal of Health Sciences*, v. 10, n. 2, 2008.

- DEKKER, P. J. T.; DAAMEN, C. B. G. Enzymes exogenous to milk in dairy technology: β -Galactosidase. *Encyclopedia of Dairy Sciences*, p.276–283, 2011.
- DELGADO JÚNIOR, I. J.; SIQUEIRA, K. B.; STOCK, L. A. Produção, composição e processamento de leite de cabra no Brasil. 2020.
- EPAGRI. Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2015-2016. Florianópolis, SC, Brasil: Dioesc, 2017.
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations Database. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/home/E>. Acesso em: 30 ago. 2024.
- FREITAS, Thaise Kessiane Teixeira, *et al.* "Elaboração de sorvete de abacaxi (Ananas comosus) com hortelã (Mentha) sem lactose." In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 26., 2018, Belém. O uso consciente da biodiversidade: Perspectivas para o avanço da ciência e tecnologia de alimentos: resumos. Campinas, SP: SBCTA, 2018., 2018.
- GROSOVÁ, Z.; ROSENBERG, M.; REBROS, M. Perspectives and applications of immobilized α -galactosidase in food industry: a review. *Czech Journal of Food Science*, v. 26, n.1, p.1-4, 2008.
- GUIMARÃES, G. M. *et al.* Iogurte zero lactose saborizado com geléia de abacaxi. *Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente*, v. 1, n. 1, p. 10-20, 2020.
- HEIDTMANN, R. B.. *et al.* Kinetics and thermodynamic characterization of β -galactosidase from *Kluyveromyces marxianus* CCT 7082 fractionated with ammonium sulphate. *Braz. J. Food Technol.*, Campinas, v. 15, n. 1, p. 41-49, jan./mar. 2012.
- KLEIN, M.P. Imobilização de β -galactosidase para obtenção de produtos lácteos com baixo teor de lactose. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.
- LADERO, M.; PEREZ, M. T.; SANTOS, A.; GARCIA-OCHOA, F. Hydrolysis of lactose by free and immobilized β -galactosidase from *Thermus* sp. Strain T2. *Biotechnology and Bioengineering*, Washington, v. 81, n. 2, p. 241-252, 2002.

NOVIATRI, A.; SETIANINGRUM, A.; HASKITO, AEP Avaliação das propriedades organolépticas do iogurte fortificado com extrato de cálice roxo de *Hibiscus sabdariffa* L. (Roselle). Em: Journal of Physics: ConferenceSeries. IOP Publishing, 2020. p. 012012.

OLIVEIRA, C. C. M. Produção de β -galactosidase por levedura recombinante - Desenvolvimento de um sistema de produção estável. 2005, 100f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade do Minho, Braga, 2005.

ÖZDEMİR, Cihat *et al.* Ice-cream production from lactose-free UHT milk. Journal of Food Science and Engineering, v. 8, p. 210-214, 2018.

PEREIRA, C. Propriedades funcionais de sorvete de morango diet com adição da enzima lactase e transglutaminase otimizada através da metodologia de superfície de resposta. 2014. 232f. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos). Universidade Federal de Santa Catarina Florianópolis.

RAMOS, Aurélia de Faria. Avaliação de aspectos físico-químicos, sensoriais e reológicos de sorvete gourmet elaborado com teor reduzido de lactose. 2016.

SANTIAGO, P.A.; MARQUEZ, L.D.S.; CARDOSO, V.L.; RIBEIRO, E.J. Estudo da produção de beta-galactosidase por fermentação de soro de queijo com *Kluyveromyces marxianus*. Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos, v.24, n.4, p.567-572, 2004.

SANTIAGO, P.A.; MARQUEZ, L. D. S.; VICELMA, L C.; RIBEIRO, E. J. Estudo da produção de β -galactosidase por fermentação de soro de queijo com *Kluyveromyces marxianus*. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 24, n. 4, p. 567-572, 2004.

SANTOS, A.; LADERO, M.; GARCÍA-OCHOA, F. Kinetic modeling of lactose hydrolysis by a β -galactosidase from a *Kluyveromyces fragilis* Enzyme and Microbial Technology, Amsterdam, v. 22, n. 7, p. 558-567, 1998.

SANTOS, G.G. Sorvete: processamento, tecnologia e substitutos da sacarose Ensaio e Ciências: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde. Anhanguera v 13, n 2, p. 95-109, 2009.

SILVA, M. R. *et al.* Determination of chemical profile of *Eugenia dysenterica* ice cream using PS-MS and HS-SPME/GC-MS. *Química Nova*, v. 44, n. 2, p. 129-136, 2021.

SWAISGOOD, H. E. Características do leite. In: DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. *Química de alimentos de Fennema*. 4. ed. Tradução de Brandelli, A. *et al.* Porto Alegre: Artmed, 2010. p.689-717.

TUZZI, A. B. *et al.* Modernização do consumo de leite e derivados: Uma revisão da literatura científica. 2021.

VENTURINI, K. S.; SARCINELLI, M. F.; SILVA, LC da. Características do leite. *Boletim Técnico, Universidade Federal do Espírito Santo, Pró-Reitoria de Extensão, Programa Institucional de Extensão, PIE-UFES*, v. 1007, n. 6, 2007.

VITAL, A. C. P.; SANTOS, N. W.; PINTRO, P. T. M.; SCAPIM, M. R. S.; MADRONA, G. S. Ice cream supplemented with grape juice residue as a source of antioxidants. *International Journal of Dairy Technology*, v. 71, n. 1, p. 183-189, 2018.

ZATTA, I. J.; DA SILVA, L. P.; BENETTI, F. Novas perspectivas de produtos dietéticos indicados aos portadores de intolerância à lactose: uma revisão sistemática. *Revista Perspectiva*, v. 46, n. 173, p. 159-174, 2022.

CAPÍTULO 04

DOI:10.29327/5586690.1-4

INOVAÇÃO DIAGNÓSTICA COM BIOSSENSORES: UMA REVOLUÇÃO NA DETECÇÃO DE BIOMARCADORES DO CÂNCER CERVICAL

DIAGNOSTIC INNOVATION WITH BIOSSENSORS: A REVOLUTION IN THE DETECTION OF CERVICAL CANCER BIOMARKERS

Liderlânio de Almeida Araújo
Universidade Federal de Pernambuco

Denis Elvis Farias de Castro
Universidade Federal de Pernambuco

Ceres Lima Batista
Universidade Federal do Ceará

RESUMO

O câncer cervical é uma das principais causas de mortalidade feminina por câncer em todo o mundo, com maior incidência em regiões de baixa e média renda devido às desigualdades no acesso à prevenção e tratamento. A infecção persistente pelo papilomavírus humano (HPV) é o principal fator de risco, sendo responsável por quase 99% dos casos. Estratégias como vacinação contra o HPV e triagens regulares têm reduzido a incidência da doença, mas enfrentam desafios de implementação em áreas vulneráveis. Biossensores emergem como uma ferramenta inovadora para o diagnóstico precoce do câncer cervical, oferecendo alta sensibilidade e especificidade na detecção de biomarcadores moleculares. Esses biomarcadores são cruciais para identificar lesões de alto risco e alterações precoces associadas à infecção pelo HPV. A portabilidade e o baixo custo dos biossensores tornam sua aplicação viável em contextos de infraestrutura limitada, ampliando o alcance do diagnóstico em regiões vulneráveis. Este estudo explora o papel dos biossensores na detecção de biomarcadores relacionados ao câncer cervical, com foco nos avanços tecnológicos e materiais inovadores empregados em sua construção. Além disso, destaca como essas tecnologias podem superar as limitações dos métodos convencionais, contribuindo para diagnósticos mais rápidos, precisos e acessíveis, impactando significativamente o controle da doença em populações de maior risco.

PALAVRAS-CHAVE: Saúde; Biotecnologia; Sensores.

INTRODUÇÃO

O câncer cervical é uma das principais causas de morte por câncer entre mulheres em todo o mundo, representando um problema significativo de saúde pública. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), mais de meio milhão de novos casos são diagnosticados anualmente, com aproximadamente 250 mil mulheres falecendo em decorrência da doença. A infecção persistente pelo vírus do papiloma humano (HPV) é o principal fator de risco para o desenvolvimento do câncer cervical, sendo prevenível por meio de estratégias como a vacinação e a triagem eficaz. No entanto, a desigualdade no acesso a serviços de saúde e a baixa cobertura de vacinação continuam a ser desafios críticos, especialmente em países de baixa e média renda (OMS, 2020).

Estratégias como a vacinação contra o HPV, exames de triagem e métodos de tratamento têm se mostrado eficazes em diminuir a incidência e mortalidade desta doença. Contudo, a implementação dessas intervenções ainda enfrenta barreiras como limitações financeiras, falta de infraestrutura e acesso restrito em regiões vulneráveis. Assim, abordagens coordenadas e baseadas em evidências são necessárias para fortalecer os serviços de saúde e promover o acesso universal às estratégias preventivas

e terapêuticas (OMS, 2020).

Biossensores emergem como uma alternativa inovadora e promissora no diagnóstico do câncer cervical, oferecendo alta sensibilidade, especificidade e portabilidade. Esses dispositivos utilizam princípios bioquímicos e tecnológicos para identificar biomarcadores específicos, como DNA viral ou proteínas associadas ao HPV, em amostras biológicas (Tamaian, 2023). Além disso, sua capacidade de fornecer resultados em tempo real e custo relativamente baixo os torna ideais para uso em países em desenvolvimento, onde a infraestrutura laboratorial é limitada.

Este capítulo tem como objetivo explorar o papel dos biossensores na detecção de biomarcadores do câncer cervical, destacando suas vantagens em relação aos métodos convencionais. Serão apresentados os principais avanços na pesquisa e desenvolvimento desses dispositivos, bem como sua aplicação clínica e potencial impacto na redução da carga global da doença. Por meio de uma abordagem interdisciplinar, espera-se demonstrar como a inovação diagnóstica com biossensores pode transformar o manejo do câncer cervical, promovendo maior equidade na saúde e ajudando a salvar vidas.

O câncer cervical é uma das principais causas de mortalidade por câncer em mulheres, com incidência e mortalidade significativamente mais altas em regiões de baixa e média renda. Em 2020, cerca de 90% das mortes por câncer cervical ocorreram nesses locais, destacando a desigualdade no acesso à prevenção e tratamento. A introdução de programas de vacinação contra o HPV em países de renda mais alta resultou em uma redução significativa dos casos, mas sua implementação global ainda é desigual (OPAS/OMS).

O papilomavírus humano (HPV) é o principal agente etiológico do câncer cervical, sendo responsável por quase 99% dos casos diagnosticados. Os genótipos oncogênicos HPV16 e HPV18 estão associados a cerca de 70% dos casos, enquanto genótipos como HPV31, HPV33 e HPV45 também apresentam alto risco. A persistência da infecção pelo HPV é agravada por fatores como imunossupressão, tabagismo e múltiplos parceiros sexuais (Burd, 2016). Estudos recentes apontam para a influência de comorbidades, como HIV, que aumentam o risco de progressão para neoplasias intraepiteliais cervicais (IARC, 2020).

Avanços nos biomarcadores moleculares têm mostrado resultados promissores

para o diagnóstico precoce do câncer cervical. O mRNA E6/E7 do HPV é amplamente reconhecido por sua especificidade e sensibilidade em identificar lesões de alto grau (CIN2+). Além disso, o marcador p16INK4a mostrou-se eficaz para diferenciar lesões de alto risco de alterações benignas. Estudos recentes indicam que combinações desses biomarcadores aumentam a precisão diagnóstica, especialmente em pacientes com infecção persistente por HPV (Onyango *et al.*, 2020).

Apesar de amplamente utilizado, o teste de Papanicolau apresenta uma sensibilidade limitada, variando de 50% a 75%, dependendo da qualidade da amostra e do avaliador. A colposcopia, embora considerada padrão-ouro para o diagnóstico de lesões suspeitas, é dependente de avaliadores treinados e infraestrutura avançada, tornando-a inacessível para muitas regiões de baixa renda (Karimi-Zarchi *et al.*, 2015). Esses métodos também apresentam baixa capacidade de identificar alterações moleculares precoces associadas à progressão da doença.

O desenvolvimento de biossensores tem se mostrado uma solução inovadora para superar as limitações dos métodos convencionais. Biossensores baseados em nanotecnologia são capazes de detectar biomarcadores como mRNA E6/E7 e p16INK4a em amostras de maneira mais rápida e precisa. Além disso, essas tecnologias podem ser integradas em plataformas portáteis, permitindo sua aplicação em regiões remotas e de recursos limitados (Onyango *et al.*, 2020).

A vacinação contra o HPV, combinada com programas de rastreamento eficazes, é a principal estratégia para reduzir a incidência do câncer cervical. Estudos mostram que países com alta cobertura vacinal apresentaram redução de até 87% nos casos de infecção por HPV16 e HPV18 em mulheres jovens. No entanto, a vacinação sozinha não elimina a necessidade de triagem regular, especialmente em populações não vacinadas ou subimunizadas.

A integração de biomarcadores avançados e novas tecnologias como os biossensores pode ser um avanço para o diagnóstico do câncer cervical. A implementação dessas inovações, juntamente com esforços para ampliar a vacinação global, oferece uma oportunidade sem precedentes para diminuir a incidência do câncer cervical como um problema de saúde pública até 2030, conforme metas estabelecidas pela OMS (Who, 2020).

Biossensores são dispositivos analíticos que combinam um elemento biológico, como uma enzima, anticorpo, célula ou receptor, com um transdutor para detectar substâncias específicas, como biomoléculas, patógenos ou outros analitos. Esses dispositivos operam com base na interação entre o analito e o elemento biológico, gerando um sinal mensurável que pode ser quantitativamente analisado para determinar a concentração ou presença do analito (Shanbhag *et al.*, 2023). A principal vantagem dos biossensores é sua alta sensibilidade, especificidade e a capacidade de fornecer resultados rápidos, o que os torna ideais para diversas áreas, como diagnóstico médico, monitoramento ambiental e segurança alimentar (Bhatia *et al.*, 2024).

Os biossensores podem ser classificados conforme o tipo de transdutor utilizado para converter a resposta biológica em um sinal mensurável. Entre os principais tipos, destacam-se os biossensores eletroquímicos, ópticos, piezoelétricos e térmicos. Os biossensores eletroquímicos, por exemplo, são amplamente utilizados em diagnóstico médico devido à sua alta sensibilidade e à facilidade de adaptação a diferentes plataformas de monitoramento. Os biossensores ópticos, que utilizam propriedades de luz como fluorescência, absorção ou reflexão, são eficientes para detecção em tempo real, especialmente em diagnósticos biomédicos. Já os biossensores piezoelétricos medem variações mecânicas no sensor devido à interação com o analito, sendo frequentemente empregados na detecção de proteínas e vírus (Polat *et al.*, 2022).

Avanços tecnológicos têm contribuído para o desenvolvimento de biossensores mais rápidos, portáteis e com maior capacidade de detecção, ampliando seu uso em várias áreas da saúde, como a detecção de doenças infecciosas, diabetes, câncer e doenças cardiovasculares. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo identificar os principais tipos de biossensores utilizados para a detecção precoce do câncer cervical, os biomarcadores mais relevantes, e os materiais inovadores empregados em sua construção. Serão analisados os desafios relacionados à sensibilidade, especificidade e custo-benefício desses dispositivos, além de como sua implementação pode impactar a prática clínica, promovendo diagnósticos mais rápidos e acessíveis, especialmente em populações de risco e regiões com recursos limitados.

MATERIAIS E MÉTODOS

Tipo de estudo

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão de literatura integrativa, adotando uma abordagem qualitativa para a análise dos dados. Esse tipo de revisão permite a integração de resultados de diferentes estudos, fornecendo uma visão abrangente e atualizada sobre o tema em questão. A seleção dos artigos foi realizada em bases de dados científicas reconhecidas, utilizando descritores específicos relacionados a biossensores e ao diagnóstico do câncer cervical. Os critérios de inclusão contemplaram estudos publicados nos últimos dez anos, que apresentassem dados relevantes sobre inovações tecnológicas, aplicação clínica e desempenho dos biossensores no diagnóstico dessa condição. A análise seguiu um roteiro sistemático, garantindo a confiabilidade e a relevância dos resultados apresentados.

Estratégia de busca nas bases de dados

A busca avançada foi realizada entre os meses de novembro e dezembro de 2024, nas bases de dados Science Direct, Embase, MEDLINE via PubMed, Google Scholar e Web of Science. Os descritores selecionados de acordo com o DeCS/MeSH foram: “Biosensors”, “Cervical Cancer”, “Diagnosis”, “Biomarkers”, “Point-of-Care Testing”, e foi utilizado o operador booleano “AND” na interseção dos descritores.

Crítérios de inclusão e exclusão

Os critérios de inclusão adotados foram: artigos publicados nos últimos 10 anos, que avaliassem o uso de biossensores no diagnóstico do câncer cervical, em modelos de estudos *in vitro* ou *in vivo*. Foram considerados artigos em português e inglês. Foram excluídos artigos que não abordassem diretamente a temática, bem como trabalhos que não apresentavam textos na íntegra.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Componentes Básicos de um Biossensor: Elemento de Reconhecimento, Transdutor e Sinal de Saída

Os biossensores consistem em três componentes principais: o elemento de reconhecimento, o transdutor e o sinal de saída. O elemento de reconhecimento é a parte biológica do biossensor, responsável por detectar e interagir com o analito-alvo. Esse componente pode ser uma enzima, anticorpo, DNA ou qualquer outro tipo de biomolécula que tenha afinidade por uma substância específica. A escolha do elemento de reconhecimento é fundamental para garantir a especificidade do biossensor (Bhalla *et al.*, 2016).

O transdutor converte a interação entre o analito e o elemento biológico em um sinal mensurável. Dependendo do tipo de biossensor, o transdutor pode gerar diferentes tipos de sinais: elétrico, óptico, mecânico ou térmico. Nos biossensores eletroquímicos, o transdutor detecta mudanças no potencial ou corrente elétrica resultantes de uma reação redox. Nos biossensores ópticos, o transdutor registra alterações na luz refletida ou transmitida devido à interação com o analito. O transdutor é o componente responsável pela conversão da resposta biológica em um sinal mensurável que pode ser analisado e interpretado (Bhalla *et al.*, 2016).

O sinal de saída é o último componente do biossensor e representa a informação final obtida da interação entre o analito e o biossensor. Esse sinal pode ser um valor elétrico (no caso de biossensores eletroquímicos), uma variação na intensidade de luz (para biossensores ópticos) ou uma alteração na frequência de ressonância (nos biossensores piezoelétricos). Esse sinal é amplificado, processado e apresentado ao usuário, geralmente por meio de um display ou interface digital, fornecendo dados quantitativos sobre a concentração do analito-alvo (Bhalla *et al.*, 2016).

Características Desejáveis em Biossensores para Diagnóstico Médico

Para que os biossensores sejam eficazes em diagnósticos médicos, várias características são essenciais. A sensibilidade é uma das propriedades mais importantes, pois determina a capacidade do biossensor de detectar pequenas quantidades do analito,

o que é fundamental em condições como o câncer, onde biomarcadores podem estar presentes em concentrações muito baixas. A especificidade também é crucial, pois o biossensor deve ser capaz de identificar apenas o analito de interesse e não reagir com outras substâncias presentes no ambiente (Haleem *et al.*, 2021).

Além disso, a portabilidade dos biossensores é uma característica chave, especialmente em ambientes clínicos e em locais com recursos limitados. Biossensores portáteis permitem diagnósticos rápidos e acessíveis, sem a necessidade de grandes equipamentos laboratoriais, o que é essencial em situações de emergência ou em áreas remotas (Tahir *et al.*, 2023). A facilidade de uso também é uma característica importante, pois permite que o diagnóstico seja realizado por profissionais de saúde em qualquer ambiente, sem a necessidade de treinamentos especializados.

Por fim, a reprodutibilidade e confiabilidade são essenciais para garantir que os resultados do biossensor sejam consistentes e precisos. A reprodutibilidade assegura que o biossensor forneça resultados semelhantes em diferentes testes ou condições operacionais, enquanto a confiabilidade garante que o dispositivo possa ser utilizado com confiança para o diagnóstico de doenças, como o câncer cervical e outras patologias. Essas características tornam os biossensores ferramentas valiosas no diagnóstico médico moderno.

Tipos de Biossensores Utilizados no Diagnóstico do Câncer Cervical

O desenvolvimento de biossensores tem oferecido alternativas promissoras para o diagnóstico precoce do câncer cervical. Essas ferramentas, baseadas em princípios físico-químicos, biológicos e de engenharia, são projetadas para detectar biomarcadores específicos. A seguir, são apresentados os principais tipos de biossensores utilizados.

Biossensores eletroquímicos

Biossensores eletroquímicos são dispositivos sensíveis que detectam substâncias específicas, como biomarcadores, por meio de reações químicas que geram sinais elétricos, como corrente ou potencial. Esses sinais são então analisados para determinar a concentração do alvo de interesse, tornando-os valiosos para diagnósticos rápidos e

precisos. Em particular, no contexto do câncer, eles são usados para detectar biomarcadores associados à doença, proporcionando uma alternativa menos invasiva e mais acessível em comparação com métodos tradicionais. O uso de nanomateriais para aprimorar a sensibilidade e a seletividade desses sensores tem sido um avanço importante. Tais inovações possibilitam a detecção precoce de câncer, aumentando a eficácia do monitoramento e tratamento de pacientes. Com a integração de novas tecnologias, os biossensores eletroquímicos têm o potencial de revolucionar o diagnóstico clínico, permitindo a realização de testes rápidos e personalizados (Fu; Karimi-Maleh, 2024).

Biossensores ópticos

Biossensores ópticos têm se mostrado promissores para a aplicação clínica devido à sua capacidade de realizar diagnósticos rápidos e precisos, sem a necessidade de reagentes. Eles operam através da interação da luz com biomoléculas, permitindo a detecção de compostos específicos relacionados a doenças, como o câncer. Sua alta sensibilidade e capacidade de medir parâmetros em tempo real são características essenciais para o avanço das tecnologias de diagnóstico não invasivas. Entretanto, a adoção desses sensores no ambiente clínico ainda enfrenta desafios significativos. As questões relacionadas à robustez dos dispositivos, integração com plataformas de análise de dados e a superação das limitações técnicas são obstáculos a serem superados. Superando essas barreiras, os biossensores ópticos podem se tornar ferramentas cruciais para o diagnóstico precoce e o acompanhamento de doenças (Pitruzzello, 2024).

Biossensores baseados em nanomateriais

Os biossensores baseados em nanomateriais têm ganhado destaque em várias áreas, como diagnóstico médico, monitoramento ambiental e segurança alimentar, devido à sua sensibilidade aprimorada e capacidade de detecção em baixas concentrações. Esses dispositivos utilizam materiais como nanopartículas, nanotubos de carbono e grafeno, que, devido às suas propriedades físicas e químicas únicas, oferecem vantagens como alta área superficial e condutividade elétrica elevada. A funcionalização desses nanomateriais com biomoléculas específicas melhora a seletividade dos sensores,

permitindo a detecção precisa de alvos, como proteínas, ácidos nucleicos e patógenos. No entanto, apesar do grande potencial, desafios como a durabilidade e a redução de interferências externas ainda precisam ser superados, o que impulsiona a pesquisa nessa área (Malek *et al.*, 2023).

Biossensores térmicos e piezoelétricos:

Embora menos comuns, biossensores térmicos e piezoelétricos apresentam potencial no diagnóstico de câncer cervical. Os sensores térmicos detectam alterações no calor gerado por reações bioquímicas, enquanto os piezoelétricos monitoram mudanças de massa em superfícies sensíveis. A grande vantagem dos biossensores piezoelétricos está em sua alta sensibilidade e a possibilidade de detectar moléculas em baixas concentrações, o que os torna uma ferramenta poderosa para o diagnóstico precoce de doenças, como o câncer, e para monitoramento de condições ambientais. No entanto, esses sensores ainda enfrentam desafios, como a necessidade de maior estabilidade e a redução de interferências externas. Para superar esses obstáculos, pesquisadores têm explorado o uso de materiais nanométricos, que aumentam a área de contato e a capacidade de detecção dos biossensores, além de buscar maneiras de torná-los mais compactos e eficientes para aplicações multiplexadas, onde múltiplos alvos podem ser analisados simultaneamente (Skládal *et al.*, 2016). Ambos são úteis em plataformas de detecção rápida e com volumes de amostra reduzidos, tornando-se promissores para o diagnóstico point-of-care.

Tipos de Biomarcadores para Diagnóstico do Câncer Cervical

Os Biomarcadores desempenham um papel fundamental no diagnóstico precoce, na previsão da progressão da doença e na avaliação da resposta ao tratamento. Eles podem ser divididos em quatro categorias principais: biomarcadores virais, moleculares, celulares e inflamatórios.

Biomarcadores Virais

A detecção de DNA e RNA do HPV de alto risco, especialmente os tipos 16 e 18, é uma das abordagens mais comuns no diagnóstico do câncer cervical. Esses tipos de HPV são responsáveis pela maioria dos casos de câncer cervical, e a presença do DNA viral nas células cervicais é um indicativo importante de infecção persistente, fator de risco primário para o desenvolvimento da doença. Técnicas como a reação em cadeia da polimerase (PCR) e a hibridação *in situ* (ISH) são frequentemente utilizadas para identificar e quantificar esses vírus, permitindo um diagnóstico precoce e a triagem de mulheres com maior risco de desenvolver câncer cervical (Williams; Kostiuk; Biron, 2022).

Estudos recentes indicam que a detecção do RNA mensageiro (mRNA) do HPV, particularmente das proteínas E6 e E7, que são essenciais para a transformação celular e a manutenção da carcinogênese, também oferece uma excelente sensibilidade e especificidade para o diagnóstico. O mRNA viral é um biomarcador mais confiável para detectar infecções ativas em comparação com o DNA viral, já que ele está diretamente relacionado à replicação viral ativa (Torres-Poveda *et al.*, 2020).

Biomarcadores Moleculares

Os biomarcadores moleculares têm se mostrado ferramentas essenciais no diagnóstico, monitoramento e no desenvolvimento de abordagens terapêuticas para o câncer do colo do útero, especialmente em sua relação com o vírus do papiloma humano (HPV). Proteínas virais como E6 e E7, identificadas como biomarcadores-chave, desempenham papéis críticos no processo de progressão da carcinogênese cervical. Elas atuam inativando proteínas reguladoras fundamentais, como p53 e RB, alterando o ciclo celular e facilitando a transformação maligna das células epiteliais do colo do útero (Gupta; Mania-Pramanik, 2019).

Além disso, as alterações epigenéticas, como a metilação de DNA, têm mostrado grande potencial como biomarcadores. A hipermetilação de certos genes, como o CDKN2A, é frequentemente observada em câncer cervical e pode ser usada como um indicador precoce da progressão da doença. Esses biomarcadores epigenéticos são

particularmente valiosos porque podem identificar alterações genéticas antes que ocorram mutações permanentes, permitindo intervenções mais eficazes (Zhao *et al.*, 2016).

Biomarcadores Celulares

A detecção de alterações nas células cervicais, tanto nas células escamosas quanto nas glandulares, é outro aspecto importante no diagnóstico do câncer cervical. A análise de amostras de células cervicais pode revelar características morfológicas indicativas de malignidade, como alterações no tamanho, formato e organização celular. Técnicas como a citologia líquida e a colposcopia são comumente usadas para identificar células anormais, e, em muitos casos, a biópsia pode ser realizada para confirmar a presença de células malignas (Koliopoulos *et al.*, 2017).

Os biomarcadores celulares têm se mostrado ferramentas promissoras no diagnóstico e monitoramento do câncer cervical, possibilitando a detecção precoce por meio da análise de alterações moleculares específicas. Elementos como células tumorais circulantes e DNA livre no plasma oferecem uma abordagem não invasiva para avaliar a resposta terapêutica e identificar recidivas. Além disso, o uso de tecnologias avançadas tem potencial para aprimorar a sensibilidade e especificidade desses biomarcadores, auxiliando decisões clínicas mais precisas. No entanto, limitações como variabilidade nos resultados e desafios técnicos ainda dificultam sua aplicação em larga escala (Pulumati *et al.*, 2023).

Citocinas e Outros Biomarcadores Inflamatórios

As citocinas e outros biomarcadores inflamatórios também têm mostrado grande potencial como indicadores de progressão tumoral ou resposta ao tratamento no câncer cervical. A inflamação crônica induzida pela infecção persistente por HPV é um fator crítico na progressão para o câncer, e as citocinas, como TNF- α , IL-6 e IL-8, podem

servir como biomarcadores de inflamação associada ao câncer cervical. Níveis elevados dessas citocinas são frequentemente observados em pacientes com câncer cervical e podem ser usados para monitorar a resposta ao tratamento e a recidiva tumoral (Scott *et al.*, 2013).

Estudos também indicam que a combinação de biomarcadores inflamatórios com outros biomarcadores moleculares pode melhorar a precisão do diagnóstico e prognóstico no câncer cervical. O uso desses biomarcadores inflamatórios pode ser particularmente útil no monitoramento de pacientes em tratamento, fornecendo informações sobre a eficácia das terapias e ajudando a personalizar os tratamentos para uma resposta mais eficaz (Liu *et al.*, 2022).

Aplicações e Vantagens dos Biossensores no Diagnóstico do Câncer Cervical

Os biossensores para diagnóstico do câncer cervical têm se beneficiado de avanços tecnológicos que os tornam cada vez mais eficazes e versáteis. A detecção de DNA e RNA viral, principalmente de tipos de HPV de alto risco, permite identificar infecções persistentes relacionadas à progressão

tumoral. Sensores que identificam proteínas específicas, como E6/E7 e p16INK4a, complementam essas análises ao fornecer informações sobre a atividade biológica do vírus e seu impacto no ciclo celular, auxiliando no diagnóstico e na estratificação dos casos.

Além disso, o uso de nanomateriais, como nanopartículas e grafeno, tem aprimorado a sensibilidade dos biossensores, permitindo a detecção de biomarcadores em níveis muito baixos. A integração desses sensores com dispositivos portáteis possibilita seu uso em contextos *point-of-care*, ampliando o acesso ao diagnóstico precoce, especialmente em locais com infraestrutura limitada. Essas tecnologias não só aceleram o diagnóstico, mas também abrem caminho para abordagens mais eficazes no manejo do câncer cervical.

CONCLUSÃO

Os biossensores vêm se consolidando como ferramentas indispensáveis no diagnóstico do câncer cervical devido à sua capacidade de detectar biomarcadores específicos com alta sensibilidade e especificidade. Biomarcadores como DNA e RNA viral, incluindo os genes E6/E7 do HPV, e proteínas como p16INK4a, são cruciais para identificar lesões de alto risco e alterações moleculares precoces associadas à progressão da doença. As inovações tecnológicas, como o uso de nanomateriais em biossensores, têm aprimorado sua eficiência, tornando-os mais rápidos, precisos e adaptáveis a diferentes cenários clínicos. Essa abordagem não apenas aumenta a precisão diagnóstica, mas também permite que esses dispositivos sejam amplamente utilizados em regiões de recursos limitados, onde métodos convencionais como colposcopia e citologia apresentam barreiras logísticas e financeiras.

A detecção precisa de biomarcadores permite a estratificação de risco e a escolha de tratamentos mais adequados, otimizando os resultados clínicos. Sua acessibilidade e custo relativamente baixo fazem deles uma solução promissora para ampliar o acesso ao diagnóstico e tratamento em populações vulneráveis, contribuindo para a redução da desigualdade em saúde. Dessa forma, os biossensores não apenas transformam o manejo do câncer cervical, mas também fortalecem a saúde pública global ao promover diagnósticos mais inclusivos e intervenções terapêuticas eficazes.

REFERÊNCIAS

- BHALLA, N. *et al.* Introduction to Biosensors. *Essays In Biochemistry*, v. 60, n. 1, p. 1–8, 30 jun. 2016.
- BHATIA, D. *et al.* Biosensors and their widespread impact on human health. *Sensors International*, v. 5, p. 100257, 1 jan. 2024.
- BURD, E. M. Human Papillomavirus Laboratory Testing: the Changing Paradigm. *Clinical Microbiology Reviews*, v. 29, n. 2, p. 291–319, 24 fev. 2016.

FU, L.; KARIMI-MALEH, H. Leveraging electrochemical sensors to improve efficiency of cancer detection. *World Journal of Clinical Oncology*, v. 15, n. 3, p. 360–366, 24 mar. 2024.

GUPTA, S. M.; MANIA-PRAMANIK, J. Molecular mechanisms in progression of HPV-associated cervical carcinogenesis. *Journal of Biomedical Science*, v. 26, n. 1, 23 abr. 2019.

HALEEM, A. *et al.* Biosensors applications in medical field: A brief review. *Sensors International*, v. 2, p. 100100, 2021.

HIGUCHI, K. H. *et al.* Flow cytometric and Ki-67 immunohistochemical analysis of cell cycle distribution of cervical cancer during radiation therapy. *Anticancer research*, v. 21, n. 4A, p. 2511–8, 2001.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. *World Cancer Report: Cancer Research for Cancer Prevention*. Lyon: IARC, 2020.

KARIMI-ZARCHI, M. *et al.* Comparison of Pap Smear and Colposcopy in Screening for Cervical Cancer in Patients with Secondary Immunodeficiency. *Electronic physician*, v. 7, n. 7, p. 1542–1548, 25 nov. 2015.

KOLIOPOULOS, G. *et al.* Cytology versus HPV testing for cervical cancer screening in the general population. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, v. 8, n. 8, 10 ago. 2017.

LIU, X. *et al.* Immune and inflammation: related factor alterations as biomarkers for predicting prognosis and responsiveness to PD-1 monoclonal antibodies in cervical cancer. *Discover Oncology*, v. 13, n. 1, 28 set. 2022.

MALIK, S. *et al.* Nanomaterials-based biosensor and their applications: A review. *Heliyon*, v. 9, n. 9, p. e19929–e19929, 1 set. 2023.

ONYANGO, C. G. *et al.* Novel biomarkers with promising benefits for diagnosis of cervical neoplasia: a systematic review. *Infectious Agents and Cancer*, v. 15, n. 1, 16 nov. 2020.

PITRUZZELLO, G. Optical biosensors towards the clinic. *Nature Photonics*, v. 18, n. 11, p. 1126–1128, 31 out. 2024.

POLAT, E. O. *et al.* Transducer Technologies for Biosensors and Their Wearable Applications. *Biosensors*, v. 12, n. 6, p. 385, 2 jun. 2022.

PULUMATI, A. *et al.* Technological advancements in cancer diagnostics: Improvements and limitations. *Cancer Reports*, v. 6, n. 2, 6 jan. 2023.

SCOTT, M. E. *et al.* Cervical cytokines and clearance of incident human

papillomavirus infection: Hawaii HPV cohort study. *International Journal of Cancer*, v. 133, n. 5, p. 1187–1196, 16 mar. 2013.

SHANBHAG, M. M. *et al.* Fundamentals of bio-electrochemical sensing. *Chemical Engineering Journal Advances*, v. 16, p. 100516, 15 nov. 2023.

SKLÁDAL, P. Piezoelectric biosensors. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, v. 79, p. 127–133, maio 2016.

TAHIR *et al.* Advancing biological investigations using portable sensors for detection of sensitive samples. *Heliyon*, v. 9, n. 12, p. e22679–e22679, 1 dez. 2023.

TAMAIAN, Radu. Aptamer-Based Biosensor Design for Simultaneous Detection of Cervical Cancer-Related MicroRNAs. *Engineering Proceedings*, v. 58, n. 1, 2023.
HPV e câncer do colo do útero - OPAS/OMS | Organização Pan-Americana da Saúde.

TORRES-POVEDA, K. *et al.* Molecular Markers for the Diagnosis of High-Risk Human Papillomavirus Infection and Triage of Human Papillomavirus-Positive Women. *Revista de investigación Clínica*, v. 72, n. 4, 24 ago. 2020.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Latest global cancer data: Cancer burden rises to 19.3 million new cases and 10.0 million cancer deaths in 2020. Lyon: IARC, 2020.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Cervical Cancer.
Disponível em:
<<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cervical-cancer>>.

WILLIAMS, J.; KOSTIUK, M.; BIRON, V. L. Molecular Detection Methods in HPV-Related Cancers. *Frontiers in Oncology*, v. 12, 27 abr. 2022.

ZHAO, R. *et al.* Implications of Genetic and Epigenetic Alterations of CDKN2A (p16 INK4a) in Cancer. *EBioMedicine*, v. 8, p. 30–39, jun. 2016.

CAPÍTULO 05

DOI:10.29327/5586690.1-5

MÉTODOS BIOTECNOLÓGICOS PARA A UTILIZAÇÃO DE ENZIMAS NA INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS: REVISÃO DE LITERATURA

BIOTECHNOLOGICAL METHODS FOR THE USE OF ENZYMES IN THE DAIRY INDUSTRY: LITERATURE REVIEW

Adamirely Bezerra de Melo
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Evelyn Luana de Andrade Correia
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Thamires dos Anjos Lopes
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Liderlanio de Almeida Araújo
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Edvane Borges da Silva
Universidade Federal de Pernambuco

Gerla Castello Branco Chinelate
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

RESUMO

As enzimas são exploradas por sua alta especificidade e eficiência sob condições moderadas, tornando-as ideais para substituir catalisadores químicos em conformidade com os princípios da química verde. Baseando-se em uma revisão da literatura de publicações entre 2017 e 2024, selecionadas na plataforma Google acadêmico por meio de critérios de inclusão específicos, o objetivo foi analisar a aplicação de enzimas em processos biotecnológicos na indústria de laticínios, abordando suas funções catalíticas e benefícios no contexto de sustentabilidade industrial, onde retratam-se que as proteases, como as cisteíno proteases imobilizadas extraídas do látex de *Calotropis procera*, demonstram-se como alternativas promissoras à quimosina na coagulação do leite, proporcionando maior estabilidade catalítica e sustentabilidade ao processo produtivo de queijos. Por outro lado, lipases e pectinases provenientes da actinobactéria *Microbacterium xylanilyticum* destacam-se pela capacidade de hidrolisar gorduras e clarificar soro de leite, contribuindo para a melhoria da qualidade sensorial e nutricional dos produtos lácteos. Adicionalmente, a síntese de lactulose em leite utilizando β -galactosidase e glicose isomerase imobilizadas evidenciou-se eficaz na produção de iogurtes prebióticos, com propriedades bioativas e melhor estabilidade das enzimas. Esses avanços reforçam a importância das enzimas na otimização dos processos industriais, promovendo eficiência, qualidade e sustentabilidade na produção de laticínios. A exploração contínua das potencialidades enzimáticas e de metodologias biotecnológicas é fundamental para o desenvolvimento de produtos lácteos inovadores e ecologicamente sustentáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Biotecnologia; Catalisadores biológicos; Processos industriais.

INTRODUÇÃO

As enzimas são catalisadores biológicos, geralmente de origem proteica, com exceção de um pequeno grupo de moléculas de RNA catalíticas. Esses catalisadores desempenham um papel essencial em diversos processos biológicos, como o metabolismo, a expressão gênica, a divisão celular e reações críticas do sistema imunológico (Vandenbergue *et al.*, 2020). As enzimas são classificadas de acordo com a reação que catalisam, sendo as hidrolases um grupo especialmente abrangente. Dentro desse grupo, destacam-se as lipases, glicosidases e proteases, que possuem uma relevância considerável na indústria alimentícia (Nascimento, 2024).

O setor de alimentos lidera a demanda global por enzimas utilizadas em processos industriais (Garg, *et al.*, 2016). O uso de enzimas para acelerar a conversão de produtos é atraente devido à sua alta especificidade e à capacidade de atuar eficientemente em condições moderadas de temperatura e pH. Como resultado, essas enzimas são amplamente aplicadas em processos como a produção de açúcar, bebidas, cervejas e

produtos lácteos (Xie; Zhang; Simpson, 2022; Souza, *et al.*, 2017; Morshed *et al.*, 2021; Denti, 2021).

Na indústria de alimentos, as proteases são um grupo de enzimas utilizado que possui grande destaque. Essas enzimas vão atuar catalisando reações de hidrólises de ligações peptídicas. Como exemplos de proteases utilizadas na indústria de laticínios tem-se a quimosina e a pepsina, que são empregadas no processo de coagulação do leite para a produção de queijo (Nascimento, M. C. *et al.*, 2021).

Outra enzima amplamente utilizada na indústria de alimentos é a lipase, é capaz de modificar as propriedades de lipídios, produzir sabor e aroma modificando a estrutura por inter ou transesterificação obtendo produtos de maior valor nutricional. A necessidade constante de lipases nos processos industriais a torna o terceiro maior grupo de enzimas com base no valor de mercado. (Mehta *et al.*, 2021).

Devido ao aumento na demanda por processos agrícolas sustentáveis e a preocupação com a segurança alimentar, a busca por estratégias para a elaboração de produtos ecologicamente corretos é crescente. A substituição de catalisadores químicos por biocatalisadores, nos processos produtivos, apresenta-se como uma alternativa atrativa (Denti, 2022).

Na indústria de laticínios, em particular, as enzimas desempenham um papel crucial, tanto na melhoria dos produtos quanto na degradação de derivados do leite. Isso se deve à composição do leite, que oferece condições ideais para reações biológicas, especialmente aquelas catalisadas por enzimas (Justina, *et al.*, 2018). A partir do exposto, este trabalho tem como objetivo apresentar uma revisão da literatura sobre a aplicação de enzimas nos métodos biotecnológicos utilizados em laticínios.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo consistiu em uma revisão de literatura baseada em publicações científicas e dissertações sobre métodos biotecnológicos para a utilização de enzimas na indústria de laticínios, utilizando a plataforma digital Google Acadêmico. Para garantir um tratamento adequado dos dados, foram selecionados como critérios de inclusão os trabalhos publicados no período de 2017 a 2024, com foco principal em publicações em

português e inglês. Para tornar a pesquisa mais assertiva e direcionada, foram utilizadas as palavras-chave: biotecnologia, enzimas industriais, laticínios e processos industriais. Artigos duplicados e aqueles que não atendiam aos critérios de inclusão foram excluídos da análise.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O estudo conduzido por Nascimento (2022) investigou o uso de cisteíno proteases imobilizadas, extraídas do látex de *Calotropis procera*, para a fabricação de queijos. O objetivo foi explorar a viabilidade dessas enzimas vegetais como uma alternativa à quimosina, amplamente utilizada na indústria de laticínios para coagulação do leite. A pesquisa demonstrou que as proteases imobilizadas mantiveram sua atividade catalítica estável por até seis meses e apresentaram melhor atividade de coagulação do leite em comparação à sua forma solúvel e à própria quimosina. Além disso, as enzimas imobilizadas permitiram o reaproveitamento em múltiplos ciclos de produção de queijo sem perda de eficiência, destacando-se como uma solução promissora e sustentável para a indústria alimentícia.

Por outro lado, o estudo revelou que as cisteíno proteases imobilizadas em suporte de glyoxyl-agarose apresentaram uma especificidade de clivagem da caseína semelhante à quimosina, essencial para a formação adequada do coalho na produção de queijo. As análises de microscopia e espalhamento de luz mostraram que o processo de agregação das micelas de caseína, induzido pelas enzimas imobilizadas, foi comparável ao observado com a quimosina comercial, garantindo a qualidade do produto final. Esses resultados sugerem que as proteases vegetais imobilizadas não só são eficazes, mas também representam uma alternativa viável e de menor impacto ambiental para a fabricação de queijos (Nascimento, 2022).

O estudo de Oliveira *et al.* (2017) demonstrou que a actinobactéria *Microbacterium xylanilyticum* pode ser uma valiosa aliada no processamento de produtos lácteos. As lipases produzidas por essa bactéria são de particular interesse, pois essas enzimas são capazes de hidrolisar gorduras, facilitando a quebra de triglicerídeos em ácidos graxos e glicerol. Esse processo é essencial em várias etapas da produção de laticínios, como na maturação de queijos, onde as lipases contribuem para o

desenvolvimento de sabor e textura. Além disso, as pectinases produzidas pela *Microbacterium xylanilyticum* podem ser utilizadas na clarificação de soro de leite, otimizando o processo de separação de sólidos e líquidos, e melhorando a qualidade dos produtos finais. Portanto, a aplicação das enzimas produzidas por essa actinobactéria pode representar uma solução biotecnológica eficiente e sustentável para a indústria de laticínios, auxiliando tanto na melhoria dos processos produtivos quanto na inovação de novos produtos.

Além disso, o estudo destacou a importância da biodiversidade microbiana da Amazônia como uma fonte rica e ainda pouco explorada de microrganismos com potencial biotecnológico. A actinobactéria *Microbacterium xylanilyticum* isolada no estudo apresentou características morfológicas e bioquímicas que a tornam especialmente promissora para a produção industrial de enzimas. A pesquisa demonstrou que essa bactéria pode crescer em condições variadas e produzir uma ampla gama de enzimas hidrolíticas e lipolíticas, que têm aplicações em setores como o de alimentos, detergentes e até na farmacêutica, reforçando a relevância de estudos de prospecção em ecossistemas tão diversos quanto o amazônico (Oliveira *et al.*, 2017).

O estudo conduzido por Becker (2020) explorou a utilização de enzimas imobilizadas na síntese controlada de lactulose em leite de diferentes espécies para a elaboração de iogurte prebiótico com teor reduzido de lactose. A pesquisa avaliou a aplicação da β -galactosidase para a hidrólise da lactose, seguida da isomerização da glicose em frutose utilizando a glicose isomerase, resultando na formação de lactulose. O estudo demonstrou que a utilização de enzimas imobilizadas é uma estratégia promissora, permitindo a produção eficiente de lactulose diretamente no leite, o que favorece a produção de iogurtes com propriedades prebióticas, mantendo a qualidade e as características sensoriais do produto final.

Destacou que a imobilização das enzimas não apenas aumentou a eficiência da síntese de lactulose, mas também melhorou a estabilidade das enzimas ao longo do tempo, permitindo o seu reaproveitamento em múltiplos ciclos de produção. Isso torna o processo mais econômico e sustentável, o que é particularmente vantajoso para a indústria de laticínios. Os iogurtes produzidos com a lactulose sintetizada apresentaram boas propriedades bioativas, como atividade antioxidante e antidiabética, além de uma textura firme e estável durante o armazenamento. Esses resultados sugerem que a utilização de

enzimas imobilizadas pode ser uma alternativa viável e inovadora para a fabricação de produtos lácteos funcionais (Becker, 2020).

CONCLUSÃO

A revisão da literatura evidenciou o impacto significativo e as oportunidades oferecidas pelo uso de biotecnologias baseadas em enzimas na indústria de laticínios. Estudos recentes demonstraram a eficácia de cisteíno proteases imobilizadas extraídas de *Calotropis procera* como alternativa sustentável à quimosina na coagulação do leite, e o potencial de enzimas de *Microbacterium xylanilyticum* na melhoria de produtos lácteos, destacando o valor da biodiversidade microbiana da Amazônia. Além disso, a imobilização de β -galactosidase e glicose isomerase na síntese de lactulose para iogurtes prebióticos mostrou-se promissora, reforçando o papel das enzimas na inovação, eficiência e sustentabilidade da indústria.

REFERÊNCIAS

- BECKER, A. F. Utilização de enzimas imobilizadas na síntese controlada da lactulose (4-O- β -D-galactopiranosil-D-frutose) em leite para elaboração de iogurte. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Pinhalzinho, 2020. Disponível em: <https://sistemabu.udesc.br/pergamumweb/vinculos/000083/00008349.pdf>. Acesso em: 2 ago. 2024.
- DENTI, A. F. Tecnologia enzimática: classificação, imobilização, suportes e aplicações. Revista Perspectiva, v. 45, n. 171, p. 97-110, 2021. Disponível em: <http://ojs.uricer.edu.br/ojs/index.php/perspectiva/article/view/168> Acesso em: 02 de ago. de 2024.
- DENTI, A. F.; POLINA, C. C.; VANZ, J.; *et al.* Enzimas e suas aplicações com ênfase na indústria de alimentos. Revista Perspectiva, v. 46, n. 175, p. 51–68, 2022. Disponível em: <http://ojs.uricer.edu.br/ojs/index.php/perspectiva/article/view/251>. Acesso em: 2 set. 2024.

JUSTINA, M. D.; JUSTINA, M. B. D.; SKORONSKI, E. O uso das enzimas na indústria de laticínios: uma breve revisão. *Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes*, v. 73, n. 3, p. 172-184, 2018. Disponível em: <<https://www.revistadoilct.com.br/rilct/article/view/679>> Acesso em: 28 de ago. de 2024.

MEHTA, A.; GULERIA, S.; SHARMA, R.; GUPTA, R. 2021. The lipases and their applications with emphasis on food industry. *Microbial Biotechnology in Food and Health*, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819813-1.00006-2>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128198131000062>. Acesso em: 2 ago. 2024.

MORSHED, M. N.; BEHARY, N.; BOUAZIZI, N.; JINPING, G. U. A. N.; NIERSTRASZ, V. A. An overview on biocatalysts immobilization on textiles: preparation, progress and application in wastewater treatment. *Chemosphere*, v. 279, p. 13081, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653521009516>> Acesso em: 02 ago. de 2024.

NASCIMENTO, M. C. *et al.* Proteases e suas aplicações biotecnológicas nas indústrias alimentícias. In: Congresso internacional da agroindústria, 2., 2021, On-line. Anais Ciagro 2021. Recife: Instituto Internacional Despertando Vocações, 2021. DOI: <https://doi.org/10.31692/IICIAGRO.0076>. Disponível em: Acesso em: 02 ago. 2024.

NASCIMENTO, Y. A. P. Uso de cisteíno proteases imobilizadas do látex de *Calotropis procera* para fabricação de queijos. 2022. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022. Disponível em: <<http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/73638>>. Acesso em: 27 ago. 2024.

OLIVEIRA, S. M. de; *et al.* Prospecção de enzimas de interesse industrial produzidas por actinobactéria isolada de solo na Amazônia. *Scientia Plena*, v. 13, n. 3, p. 1-6, 2017. Disponível em: <https://www.scientiaplenu.org.br>. Acesso em: 27 ago. 2024.

ROVEDA, M.; HEMKEMEIER, M.; COLLA, L. M. Avaliação da produção de lipases por diferentes cepas de microrganismos isolados em efluentes de laticínios por fermentação submersa. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 30, n. 1, p. 126-131, 2010.

Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cta/a/fpKPtnMr4KXzGvxwr58cYNk/?lang=pt#>>. Acesso em: 27 de ago. de 2024.

SOUZA, L. T.; VERÍSSIMO, L. A.; PESSELA, B. C.; SANTORO, R. R.; RESENDE, R. R.; MENDES, A. A. Imobilização enzimática: princípios fundamentais e tipos de suporte. In: RESENDE, R. R. *Biotecnologia Aplicada à Agroindústria: Fundamentos e Aplicações*, v. 4. Editora Blucher, 2017. Disponível em <<https://digital.csic.es/handle/10261/196198>> Acesso em: 02 de ago. de 2024.

VANDENBERGHE, L. P. S. et al. Classification of enzymes and catalytic properties. *Biomass, Biofuels, Biochemicals*, [s.l.], n. August 2018, p. 11–30, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128198209000028>. Acesso em: 27 ago. 2024.

XIE, J.; ZHANG, Y.; SIMPSON, B. Food Enzymes Immobilization: Novel Carriers, Techniques and Applications. *Food Science*, v. 43, p. 1-9, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214799321001284>> Acesso em: 02 de ago. de 2024.

ZHANG, Y. Y.; RUI, X.; SIMPSON, B. K. Trends in nanozymes development versus traditional enzymes in food science. *Food Science*, v. 37, p. 10-16, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214799320300643>> Acesso em: 02 de ago. de 2024.

CAPÍTULO 06

DOI:10.29327/5586690.1-6

MICRORGANISMOS CONTAMINANTES DE FAST FOOD: CONTROLE DE CONTAMINAÇÃO E SEGURANÇA ALIMENTAR: REVISÃO

FAST FOOD CONTAMINATING ICRORGANISMS: CONTAMINATION CONTROL AND FOOD SAFETY: REVIEW

Leticya Maria Oliveira do Nascimento
Universidade Federal de Pernambuco

Igor César Nascimento de Moraes
Universidade Federal de Pernambuco

Liderlanio de Almeida Araújo
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Edvane Borges da Silva
Universidade Federal de Pernambuco

Gerla Castello Branco Chinelate
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

RESUMO

As Doenças Transmitidas por Alimentos (DTA) são ocasionadas pelo consumo de alimentos ou água contaminados através de microrganismos ou toxinas, que podem ser prevenidas através de inspeção do processo do controle de qualidade. Os pontos de venda de alimentos de estabelecimento denominados por fast food, devem ser foco de atenção pois podem representar riscos à saúde da população, caso os processos não sejam realizados de acordo com as exigências sanitárias legais, além de ser comumente utilizado pela população mundial, conforme o avanço da vida moderna e sua necessidade do instantâneo. Diante do exposto, objetivou-se desenvolver material informativo destinado aos manipuladores e consumidores de alimentos de fast food, com base nos fatores de contaminação dos alimentos e respectivas medidas de controle, buscando apresentar as boas práticas de manipulação de alimentos nos referidos estabelecimentos e favorecer a oferta e consumo de alimentos seguros. Para definição do conteúdo do material, foi feito estudo prévio, com base em revisão de literatura, buscando identificar os prováveis fatores de contaminação relacionados à comercialização de alimentos em fast food. Em paralelo, foi feito um estudo a fim informar aos consumidores e comerciários sobre medidas de controle simples e pontuais que podem favorecer a oferta e consumo de alimentos mais seguros, em termos sanitários, conforme o Regulamento Técnico de Boas Práticas para Serviços de Alimentação (RDC ANVISA N°216/2004).

PALAVRAS-CHAVE: Alimentos de fast food; Comunicação; Controle sanitário microbiologia; Saúde.

INTRODUÇÃO

A comida rápida, ou fast food, é conceituada por um conjunto de alimentos e bebidas prontos para o consumo rápido (FAO, 2011). A procura e consumo dos fast food aumentaram com as mudanças dos hábitos de vida e alimentares dos indivíduos com a modernidade (Yamamoto *et al.*, 2004), visto que o ritmo acelerado que a vida moderna impôs ao seu dia a dia, remodelado por fatores como aumento de jornada de trabalho, aumento da população, locomoção dificultada e entre outros, atenua a necessidade da economia de tempo (Lanza, 2018).

Economicamente esse tipo de comércio é extremamente importante, entretanto, ressalva a preocupação com a segurança sanitária do ponto de vista de manuseio e comercialização (Pertile, 2013, Who, 2006). Partindo desse pressuposto, segundo Fao (2011), Santos (2012), Souza (2015), esses comércios informais de alimentos, desafiam os aspectos sanitários do ponto de vista da instrução dos manipuladores de alimentos em relação às boas práticas de manipulação, as inseguras condições ambientais dos locais de produção das refeições, a relação da temperatura de exposição dos alimentos prontos para

consumo, fatores de risco para a contaminação e multiplicação microbiana da qualidade do produto final.

Existem várias doenças que podem contraídas através de alimentos; que podem ser leves, mas também podem levar a óbito. Essas Doenças Transmitidas por Alimentos (DTA's) são grandes problemas de saúde pública em todo mundo, especialmente em países em desenvolvimento, como o Brasil (Lima, 2005).

As DTA's são ocasionadas pela ingestão de alimentos ou água contaminada por microrganismos, como as bactérias, vírus, parasitas ou por toxinas produzidas por estes contaminantes, com intoxicações e infecções que podem ser agudas e crônicas ou ainda por substâncias químicas (Portal de saúde, 2017). Os sintomas mais comuns causados são características de infecção alimentar, ou seja, a diarreia, náuseas, vômitos e dores abdominais, além das características de intoxicação, manchas e prurido pelo corpo (Lanza, 2018).

No Brasil, as DTA's apresentam um cenário preocupante diante da grande incidência de contaminação, visto que os alimentos cada vez mais passam por mais processos industriais e manipulações, favorecendo a proliferação dessas contaminações (Machado, 2013).

Um dos principais locais que podem ocorrer esse tipo de contaminação nos alimentos é no comércio ambulante ou comércio de comida de rua (Ferraz, 2015). A camada menos favorecida economicamente da população sofre mais com o acometimento de DTA, tendo em vista que consomem produtos com menor preço, que geralmente apresentam qualidade inferior, trazendo ainda mais importância para esse tipo de comércio nas ruas (Welker, 2010). Estudos sobre riscos sanitários associados à alimentação em cidades brasileiras, apontam alertas mediante a confiabilidade dos registros oficiais de surtos relacionados à comida de rua (Bezerra, Mancuso, Heitz, 2014).

Pelo exposto, as leis sobre doenças transmitidas por alimentos (DTA) visam garantir a qualidade e a segurança dos alimentos, além de prevenir a contaminação e proteger a saúde dos consumidores. No Brasil, existem diversas leis que regulamentam os serviços de alimentação, como a Resolução-RDC Anvisa no 216/041, que estabelece as boas práticas para os serviços de alimentação, e a RDC 487/2012, a fim de garantir as condições higiênico-sanitárias do alimento preparado, aplicando-se aos estabelecimentos que oferecem e realizam as seguintes atividades: manipulação, preparação, fracionamento, armazenamento, distribuição, transporte, exposição à venda e entrega de

alimentos industriais, cozinhas industriais, cozinhas institucionais, lanchonetes, padarias, pastelarias, restaurantes, rotisseries e congêneres (Brasil, 2004).

Sistema fast-food

O sistema fast-food é uma expressão de origem inglesa caracterizando uma modalidade alimentar. As principais regras para esse sistema é a agilidade no preparo, consumo e venda e, por isso, existe uma padronização, mecanização e rapidez para a fluidez dessa modalidade. Segundo Diana (s.d), é um processo semelhante ao de produção fordista, onde tinha como prioridade agilizar a produtividade.

As primeiras lanchonetes mais famosas surgiram na década de 70 e se destacaram no capitalismo durante a guerra fria, tendo como maior referência de cadeias desse sistema o McDonald's, fundado em 1940 na Califórnia pelos irmãos Richard e Maurice McDonald. Ademais, atenua-se o fato de ser uma modalidade antiga, visto que se considera os comércios de alimentos nas ruas (Fontenelle, 2007).

O fast food iniciou-se no Brasil na década de 70, na cidade do Rio de Janeiro. A contar desse momento, a utilização desse sistema tem-se crescido no país (Cláudio, 2002). Em conformidade com pesquisas realizadas pela Kantar (2023), no Brasil, o comércio de comidas rápidas atingiu o auge de consumidores em 2023, sobressaindo 9,9 milhões de consumistas em 2021 para 13,7 milhões em 2023. Ainda em concordância com a Kantar (2023), estudos revelam que os maiores usuários desse sistema são jovens.

Esse sistema se destaca pelas poucas variedades de alimentos, tais como lanches, acompanhados por batatas fritas e outras frituras, além de refrigerantes, e ambiente desconfortável, de modo a acelerar a ingestão dos alimentos (Góes, 2010). Dado isso, tem-se surgido problemas de saúde relacionados a esses tipos de comércios, como obesidade, diabetes, doenças cardiovasculares e hipertensão arterial (Pietrangelo, 2022.) Para além, destaca-se também DTA's através de estabelecimentos de Fast-food por falta de higienização (Pietrangelo, 2022).

Microrganismos que são transmitidos pelos alimentos

A intoxicação alimentar é causada por diversos fatores, mas principalmente pelos agentes biológicos através ingestão de alimentos contendo substâncias tóxicas por microrganismo. A intoxicação alimentar ocorre durante o crescimento de patógenos específicos que liberam toxinas no alimento, e será subsequentemente consumido pelo ser humano (Ferreira, 2006).

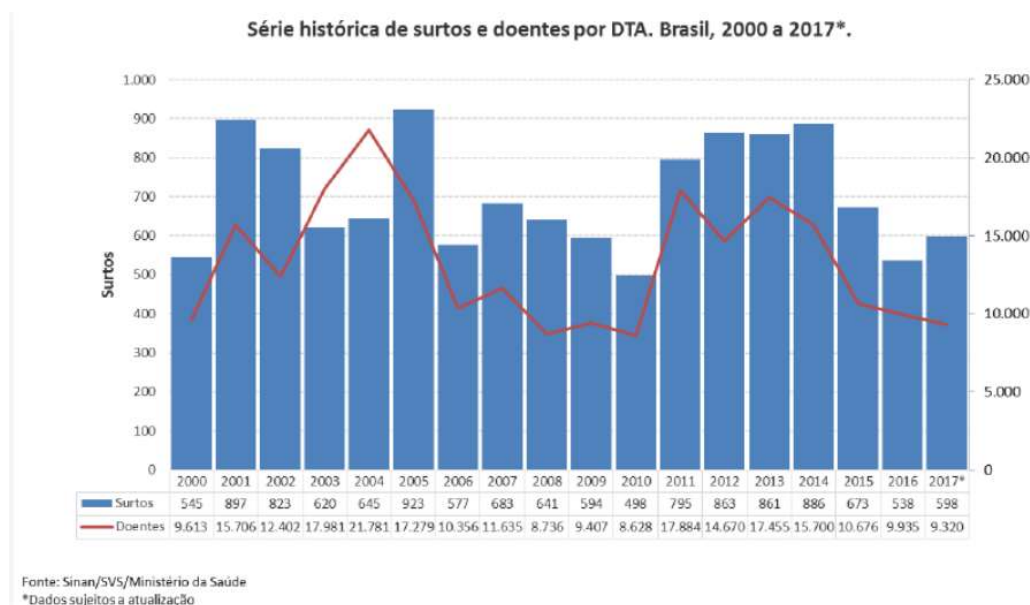
Ferreira (2006) conota que a doença causada quando se ingere alimentos contaminados com microrganismo patogênico, cresce no intestino e forma uma ou mais toxinas que podem prejudicar os tecidos ou interferir as funções normais dos órgãos ou tecidos do hospedeiro, é nomeada de toxiinfecção ou intoxicação alimentar.

Segundo Silva *et al.* (2003), os microrganismos são existentes em todo ambiente de natureza do homem, em todos os seres vivos e nas fontes de alimento. Isto posto, qualquer produto de alimento, sejam eles industrializados ou in natura, tem uma grande probabilidade de ser contaminado por várias espécies de microrganismos. Portando, as mãos de quem manipula esses alimentos são o principal meio de transporte de microrganismos, bem como as superfícies, utensílios e roupas e, por isso a importância da higienização correta antes e após a manipulação alimentícia (Ferreira, 2006).

Um estudo realizado no interior de São Paulo, em Campinas, identificou microrganismos em 90% das saladas analisadas provenientes de delivery e fast food, onde identificou-se a presença da bactéria *Pseudomonas aeruginosa* e *Staphylococcus aureus*, em grande quantidade, em uma única amostra vinda do delivery. Essas bactérias são responsáveis por infecções intestinais, problemas pulmonares e faringite (Marketing, 2021).

Partindo desse pressuposto, Lanza (2018) realizou uma pesquisa na qual abrange surtos alimentares por doença transmissível por alimento (DTA) entre os anos de 2000 a 2017 (figura 01).

Figura 01: Surtos alimentares entre 2000 a 2017.



Fonte: Lanza, 2018.

As DTA's são causadas pela ingestão de água ou alimentos contaminados, salienta-se que se considera surto alimentares quando se evidencia dois ou mais indivíduos com patologias semelhantes após consumir de um mesmo alimento ou água, e as análises epidemiológicas certificam origens iguais (Lanza, 2018).

Os principais transmissores de microrganismos aos alimentos são as mãos (Souza, 2015). Em conformidade com a Portaria RDS nº 216 de 15 de setembro de 2004, se faz necessário que os manipuladores de alimentos mantenham suas mãos limpas e higienização, além de manterem unhas curtas e sem nenhum produto que venha a colaborar com a contaminação, como esmalte ou base, determina-se também a retirada de maquiagens, jóias e outros objetos que não façam parte do Equipamento de Proteção do Indivíduo (EPI) (Brasil, 2004).

Um estudo de Souza (2015) realizado na cidade de Uberlândia – MG em 30 pontos de comércio com 10 ambulantes, constatou alto índice de desconformidade em relação ao asseio corporal dos ambulantes, foi analisado que os cuidados pessoais com a higienização das mãos não são praticados, 43,3% de adequação e ao uso de adornos, com 46,7% de adequação. Ainda nesse estudo, mais da metade dos vendedores tem contato com alimentos e dinheiros sem nenhuma higienização entre as manipulações, o que tende a aumentar o risco de contaminação com agentes patogênicos nos alimentos, e consequentemente as Doenças Transmitidas por Alimentos (DTA).

Outro estudo realizado por Santos (2012), identificou em um comércio de comida de rua em Santo Antônio de Jesus/BA presença de *Staphylococcus aureus* em 80% das amostras e coliformes fecais na maioria das amostras, cerca de 90%. Ainda na pesquisa, constatou a má administração da temperatura dos alimentos, o que favorece a proliferação e multiplicação dos agentes patogênicos (ANVISA, 2004).

As doenças oriundas dessas contaminações podem conter sintomas como náuseas, diarreia, vômito, acompanhado ou não de febre (Brasil, 2013). Sua originalidade pode ser através das alterações ambientais, processo de industrialização, comportamento dos manipuladores de alimentos e até mesmo materiais das embalagens em que os produtos são colocados para serem consumidos (Garcia, 2013).

Segundo Miret (2013), em 2005, no Reino Unido foi encontrado o corante Sudan I em embalagens de molho inglês, depois de evidências de patologias em indivíduos que utilizavam o molho, descobriu-se que o aditivo era carcinogênico. Ademais, o corante era utilizado em pizza, cup noodles, totalizando mais de 400 produtos.

Na cidade do Recife, foi realizado um estudo por Anunciada (2011) a fim de investigar Coliformes em água de abastecimento de lojas fast-food da Região Metropolitana da cidade citada, os resultados revelaram que 11,46% de todas as amostras apresentaram água contaminada por coliformes totais e 1,04% contaminação por coliformes termotolerantes, ou seja, a qualidade da água disponível nos estabelecimentos produtores de alimentos estudados estavam estado de alerta, uma vez que foi comparado com a portaria vigente.

Controle alimentar de fast food

As normas regulamentadoras que regem a segurança e o controle alimentar de comércios de fast food e comidas de ruas assumem a responsabilidade de proporcionar níveis de contaminações que são consideradas aceitáveis. A Lei nº 11.346, 15 de setembro de 2006, abrange, também, os problemas de edificação do estabelecimento no qual é operado os fast foods (Sisan, 2006).

Para tanto, sabe-se que comércios maiores possuem estruturas adequadas para tal funcionamento, entretanto, existe a disparidade de alguns ambientes mais empobrecidos que não possuem as mesmas qualidades, como equipamentos utensílios do local inapropriados, a indisponibilidade de água potável, a coincidência do mesmo manipulador de alimentos por receber o dinheiro do pagamento das refeições e ser o

responsável por realizar a higiene do local, potencial risco de contaminação cruzada e comprometimento da segurança do alimento, (Ferrari, Oliveira, São José, 2021).

Outrossim, Alves e colaboradores (2016) compararam a qualidade microbiológica de sanduíches comercializados por restaurantes do tipo fast food em 4 estabelecimentos franqueados e 4 não-franqueados da cidade de Americana – SP, foi constatado que os estabelecimentos não franqueados indicaram maiores taxas de contaminação do que os estabelecimentos franqueados.

Nas unidades desses comércios de alimentos rápidos, os manipuladores de alimentos são os principais pontos críticos de controle, visto que os mesmos poderão não ser treinados para desempenhar suas funções e ainda ignorarem os princípios das Boas Práticas de Produção (Carneiro, 2004).

A legislação Brasileira prevê regras a serem seguidas na produção de alimentos: Dispor de dependências, instalações adequadas, para a produção, fracionamento, conservação, acondicionamento e armazenamento de alimentos; Manter permanentemente higienizadas suas dependências, bem como as máquinas, os utensílios e outros matérias nela existentes; Os locais de elaboração, fracionamento ou acondicionamento de alimentos deverão possuir piso e paredes de material liso, impermeável, lavável, de cores claras para facilitar a higienização, isento de fungos e em bom estado de conservação.

As instalações sanitárias e os vestiários deverão ter piso de material cerâmico, com ralo sifonado provido de grelha que se feche, portas com molas que se fechem automaticamente. Será obrigatória a existência de 18 papel higiênico, lavatório com água corrente, sabão, toalhas de papel de uso individual ou secador de ar quente; Dispor de adequado abastecimento de água, ventilação suficiente em todas as dependências, iluminação adequada, sistema de refrigeração e armazenamento de alimentos; Dispor de local adequado para o descarte e armazenamento do lixo (Brasil, 1997).

A nova legislação identificou alguns sorotipos (quadro 1). Na categoria específica que contempla padrões microbiológicos para carnes de aves, a IN 60/2019 estabelece a identificação dos *Sorovares enteriditis* e *Typhimurium* pela relevância em saúde pública. Outrossim, a antiga legislação, ainda em vigência, a IN 20/2016 do Ministério da Agricultura, já abrangia o controle e monitoramento de *Salmonella* spp. nos estabelecimentos avícolas, incluindo medidas de controle em relação à presença destes sorotipos.

Quadro 01: Principais alterações na exigência para microrganismos em alimentos prontos para consumo.

Microrganismo Patogênico	Padrão microbiológico da RDC12/2001	Padrão microbiológico da IN 60/2019 alterada pela RDC459/2020
<i>Salmonella</i> spp.	Não exigido para carne crua de aves	Carnes de aves: detectar sorotipos associados à DTA - <i>S. Typhimurium</i> e <i>S. Enteritidis</i> ; Carnes de suínos: <i>Salmonella</i> spp. com plano de amostragem n=5 e c=1 após adequação da rotulagem estabelecido pela RDC 459/2020;
<i>Listeria monocytogenes</i>	Somente para queijos	- Alimentos prontos para consumo, com exceções e plano de amostragem (n=5); Alimentos prontos para consumo destinado a lactentes ou fins especiais, com plano de amostragem (n=10)
<i>Clostridium perfringens</i>	Clostrídios sulfito redutores a 46°C	- Determinação de <i>Clostridium perfringens</i> atualizada frente às metodologias internacionalmente reconhecidas, exigindo técnica de isolamento simples à 37°C. Para águas envasadas, determinar esporos de clostrídios sulfito redutores
<i>Cronobacter</i> spp.	Não havia padrão	Isolamento de <i>Cronobacter</i> spp. em alimentos em pó e fórmulas para nutrição enteral
<i>Bacillus cereus</i>	Determinação de <i>Bacillus cereus</i>	Determinação de <i>Bacillus cereus</i> presumitivo, eliminando multi-provas e condizente com metodologias internacionais
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Para categorias de águas envasadas “para o preparo de mamadeiras e similares” e “para o preparo de alimentos para imunodeprimidos e imunocomprometidos e para dietas enterais”	Para águas envasadas na categoria específica “água mineral natural, água natural, água adicionada de sais e água do mar dessalinizada potável”

Fonte: Maris *et al.*, 2022.

Para diversos grupos alimentares a IN 60/2019 traz a indicação de análise de *B. Cereus* presuntivo (Quadro 2.4). *Bacillus cereus* é um bacilo Gram positivo grande, que pode causar duas formas distintas de gastroenterite: a síndrome diarreica e emética. O solo é seu reservatório natural contaminando facilmente vegetais, destacando-se o arroz. Pode ser encontrado em vários tipos de alimentos: queijos, farinhas, alimentos desidratados e carnes (Franco; Landgraf, 1996).

Para tanto, Fonseca e Pereira (2013) sugerem realização de atividades educativas, além da implantação do manual de boas práticas dentro de um estabelecimento, visto que é por meio dele que os trabalhadores terão acesso ao conhecimento sobre os procedimentos operacionais e de higienização, uma vez que isso proporciona a melhoria da qualidade higiênico-sanitária dos alimentos presentes nos fast food comercializado (Ferreira, 2006).

METODOLOGIA

A pesquisa tratou-se de uma revisão integrativa da literatura constituída por referências científicas com temática sobre manipulação e contaminação de alimentos em serviços de alimentação, com ênfase em fast food.

Para a construção da revisão integrativa da literatura foram seguidos os seguintes passos: a identificação do problema; a busca da literatura; a avaliação e a análise dos dados obtidos (Galvao, 2021). O estudo foi baseado pelos seguintes questionamentos: Qual o perfil microbiológico do fast food no Brasil e seu impacto nas boas práticas? Como funciona o controle microbiológico e segurança alimentar nos fast food?

A busca dos estudos ocorreu no período de janeiro e fevereiro de 2024. Os critérios de inclusão do estudo foi: artigos em português e inglês, publicados nos últimos dez anos, que apresentassem em sua discussão análises da qualidade microbiológica de fast food e a importância das boas práticas para evitar a contaminação dos alimentos e os critérios de exclusão foram a falta de objetividade, texto incompleto e concordância com o tema, indexados nas bases de dados CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), BVS (Biblioteca Virtual de Saúde), a PUBMED (National Library of Medicine) e Google acadêmico.

Para a realização da busca, foram utilizadas combinações entre as seguintes palavras-chave: “Contaminação de alimentos”, “fast food”, “hamburger”, “cachorro-

quente”, “pizza”, “pastéis” “batata frita”, “Análise Microbiológica”, “Contaminantes bacterianos” “vigilância sanitária alimentar”, “segurança alimentar”, “contaminação alimentar”. Apesar das palavras “Análise Microbiológica” e “Contaminantes bacterianos” não serem descritores de saúde, os autores deliberaram estrategicamente para potencializar as chances de trazer todos os trabalhos inerentes aos elementos que respondem à pergunta norteadora.

Nesta busca, foram inicialmente identificados 24 artigos científicos na base de dados CAPES, 13.200 no GOOGLE ACADÊMICO e 23 na base PUBMED para a leitura exploratória dos resumos e, então, selecionados artigos que 15 artigos que respondiam à questão norteadora desta revisão. As etapas deste processo estão descritas no quadro 2.

Quadro 02: Distribuição das referências bibliográficas obtidas nas bases de dados, GOOGLE ACADÊMICO, CAPES E PUBMED.

Base de Dados	Palavras-chave cruzadas concomitantemente	Número de resumos obtidas	Referencias Selecionados (com palavras do resumo e como descritores)	Referências analisados para análise	Selecionadas para revisão
GOOGLE ACADÊMICO	Contaminação de alimentos/fast food	64	8	5	2
	Contaminação de alimentos/hambúrguer	4	2	2	1
	Contaminação de alimentos/pasteis	2	2	1	2
	Contaminação de alimentos/cachorro-quente	4	2	1	2
CAPES	Contaminação de alimentos/fast food	2	1	0	0
	Contaminação de alimentos/hamburguer	1	1	0	0
	Contaminação de alimentos/pasteis	1	0	0	0
	Contaminação de alimentos/cachorro-	4	1	1	1

	quente				
	Contaminação de alimentos/pizza	1	0	0	0
PUBMED	Food contamination/fast food	73	13	5	3
	Food contamination/hamburger	25	5	2	2
	Food contamination/pastries	13	6	1	1
	Food contamination/hot dog	7	5	2	1
	Food contamination/pizza	14	12	6	2

Fonte: autores, 2025.

Totalizando 17 artigos selecionados para revisão, destes, utilizou-se as referências bibliográficas contidas nos artigos. Outrossim, a higienização dos locais onde esses alimentos são produzidos também são importantes, uma vez que existe contaminação microbiológica até em superfícies, podendo resultar em riscos à saúde da população se encontrados em condições de higiene e instalações precárias, se houver má sanitização dos utensílios, equipamentos e a falta de higiene das mãos dos manipuladores (Cintra, *et. al.* 2017). A Organização Mundial da Saúde (OMS), afirma que a contaminação microbiana é uma das principais razões de intoxicação alimentar, sendo 60% dos casos, consequência de uma inadequada manipulação na produção de alimentos e contaminação por meios de bancadas e utensílios (Fernandes, 2018).

CONCLUSÃO

Considerando todos os fatores analisados nesse estudo, foi possível identificar a importância das boas práticas para os serviços de alimentação, RDC 487/20212, na manipulação dos alimentos para evitar as doenças transmitidas por alimentação, colaborando com a diminuição das taxas de surtos alimentares.

A ocorrência da contaminação dos alimentos fast food, associada a qualidade de serviço, é reveladora de uma grave distorção entre um possível conhecimento sobre corretas práticas de higiene em relação aos hábitos e atitudes inadequadas do manipulador de alimentos. Mediante aos dados obtidos, torna-se urgente a necessidade da capacitação

dos manipuladores, visando à melhoria das práticas de higiene pessoal e na manipulação, para que os alimentos cheguem ao consumidor final com qualidade microbiana adequada evitando a possibilidades de estes serem veículos de doenças de origem alimentar.

Com base nos resultados obtidos na análise dos artigos analisados, o controle de qualidade microbiológica pode estar entre os problemas desses alimentos, pois a contaminação pós-cozimento foi o principal fator insalubre, principalmente porque as práticas inseguras de higiene dos cuidadores favorecem aumento do número de microrganismos indesejáveis. Nessa perspectiva, torna-se urgente a necessidade da capacitação dos manipuladores, e com isso maior monitoramento da fiscalização sanitária para saber as condições higiênicas desses locais, visando à melhoria das práticas de higiene pessoal e na manipulação, para que os alimentos cheguem ao consumidor final com qualidade microbiana adequada evitando a possibilidades de estes serem veículos de doenças de origem alimentar.

REFERÊNCIAS

Anvisa. Disponível em:

<https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2004/res0216_15_09_2004.html>.

Acesso em: 20 jan. 2024.

Bezerra, ACD; Mancuso, AMC; Heitz, SJJ. Alimento de rua na agenda nacional de segurança alimentar e nutricional: Um ensaio para a qualificação sanitária no Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*. v. 19, n. 05. p. 1489-1494. 2014. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1590/1413-81232014195.18762013>>. Acesso em: 20 jan. 2024.

Diana, Daniela. Fast-food. *Toda Matéria*, [s.d.]. Disponível em:

<https://www.todamateria.com.br/fast-food/>. Acesso em: 30 jan. 2024.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. Promessas e desafios do setor informal de alimentos em países 48 em desenvolvimento. 2011. Disponível em: <

<https://www.fao.org/3/a1124p/a1124p.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2024.

Ferraz, RRN; Santana, FT; Barnabé, AS; Fornari, JV. Investigação de surtos de doenças transmitidas por alimentos como ferramenta de gestão em saúde de unidades de

alimentação e nutrição. Revista de Administração e Ciências Contábeis do IDEAU. p. 1-10. 2015. Disponível em: <https://www.caxias.ideau.com.br/wp-content/files_mf/f9397d617e81fafa7be43f6947e60df1269_1.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2024.

Fontenelle, IA. Construção e desconstrução de fronteiras e identidades organizacionais: história e desafios do McDonald's. Revista de Administração de Empresas, v. 47, n. 1, p. 60–70, mar. 2007.

Lanza, J. Surtos alimentares no Brasil – Dados atualizados em junho de 2018. Disponível em: <<https://foodsafetybrazil.org/surtos-alimentares-no-brasil-dados-atualizados-junho-de-2018-2/>>. Acesso em: 24 jan. 2024.

Lima, JX; O Crescimento do Restaurante Self-Service: Aspectos Positivos e Negativos para o Consumidor.; Revista Higiene Alimentar, Vol. 19, nº128, Janeiro/Fevereiro 2005.

Machado, TF. Patógenos emergentes em alimentos. Embrapa. Fortaleza. 2013. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/90041/1/DOC13002.pdf>>. Acesso em: 24 jan. 2024.

Pertile, K.. Comida de Rua: Relações Históricas e Conceituais. Revista Rosa dos Ventos. p. 301-310. 2013. Disponível em: <<file:///C:/Users/silvi/Downloads/1896-6957-1-PB.pdf>>. Acesso em: 24 jan. 2024.

PORTAL DA SAÚDE. Doenças transmitidas por alimentos (DTA), 2017. Disponível em: <<http://portalsaude.saude.gov.br/index.php/oministerio/principal/secretarias/svs/doencas-transmitidas-por-alimentos-dta>>. Acesso em: 20 jan. 2024.

Santos, M. P.. *et al.* Características higiênicas sanitárias da comida de rua e proposta de intervenção educativa. Revista Baiana de Saúde Pública. v. 36. n.4. p. 885-898. Out./Dez. de 2012. Disponível em: <<https://rbsp.sesab.ba.gov.br/index.php/rbsp/article/view/786/385>>. Acesso em: 19 jan. 2024.

Souza, GC de. *et al.* Comida de rua: Avaliação das condições higiênicas-sanitárias de manipuladores de alimentos. Ciência & Saúde Coletiva. 2015. Disponível em:

<<https://www.scielo.org/pdf/csc/2015.v20n8/2329-2338/pt>>. Acesso em: 19 jan. 2024.

Welker, CAD; Both, JMC; Longaray, SM; Haas, S; Soeiro, MLT; Ramos, RC. Análise microbiológica dos alimentos envolvidos em surtos de doenças transmitidas por alimentos (DTA) ocorridos no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Revista Brasileira de Biociências. p. 44-48. 2010. Disponível em: <<file:///C:/Users/ewert/Downloads/1322-7460-4-PB.pdf>>. Acesso em: 25 jan. 2024.

Who - WORLD HEALTH ORGANIZATION. Doenças de origem alimentar: enfoque para educação em saúde. Trad. de D Tommasi. São Paulo: Roca; 2006.

Yamamoto DC, Marlet EF, Silva FR, Santos LCCA. Caracterização das condições higiênico-sanitárias dos restaurantes 'fast food' de dois 'shoppingcenters' em diferentes regiões do município de São Paulo. HigAliment. 2004; 18(122):14-20.

CAPÍTULO 07

DOI:10.29327/5586690.1-7

NOVOS ANTIBIÓTICOS A PARTIR DE CAROTENOIDES BACTERIANOS

NEW ANTIBIOTICS FROM BACTERIAL CAROTENOIDS

Jaqueline dos Santos Silva Pinheiro Rodrigues
Universidade Federal de Pernambuco

Amanda Vieira de Barros
Universidade Federal de Pernambuco

Fábio Nildo dos Santos
Universidade Federal de Pernambuco

Karen Cristina da Silva Moreira
Universidade Federal de Pernambuco

Gabriela de Lima Torres
Universidade Federal de Pernambuco

Maria Betânia Melo de Oliveira
Universidade Federal de Pernambuco

RESUMO

Carotenoides são pigmentos com tonalidades que variam do amarelo ao vermelho, sendo classificados como carotenos e xantofilas a depender da estrutura química. Estão presentes em animais, plantas, fungos, bactérias e outros microrganismos fotossintetizantes e não-fotossintetizantes. Comercialmente os carotenoides são largamente utilizados pelas indústrias como corante alimentício. Todavia, além de colorir estes compostos também apresentam outras funcionalidades como proteção solar, ação antioxidante, antitumoral, antimicrobiana e na alimentação são precursores de vitamina A. Podendo ser utilizados em diversas áreas da indústria como cosmética, conservação de alimentos, suplementos alimentares e produção de antibióticos, visto que apresentam considerável potencial antimicrobiano, já descrito na literatura sobre bactérias Gram-positivas, Gram-negativas, enterobactérias, fungos e vírus. Considerando o aumento da quantidade de microrganismos resistentes aos tratamentos antibióticos convencionais e a busca por novos agentes antimicrobianos, os carotenoides podem ser uma opção valiosa nesta guerra biológica. Atualmente a principal fonte de obtenção dos carotenoides é a sintética e uma pequena parcela é extraída de plantas e outros organismos. No entanto, a literatura mostra que a utilização de bactérias como fonte para a produção e extração destes pigmentos é promissora. Podendo-se, portanto, considerar os carotenoides extraídos de bactérias uma opção vantajosa para a obtenção de novos antibióticos.

PALAVRAS-CHAVE: Pigmentos; Resistência bacteriana; Antimicrobiano.

INTRODUÇÃO

Em 1928, Alexander Fleming descobriu uma substância, mais tarde chamada de penicilina, que poderia matar as bactérias que estudava (Bruna *et al.*, 2021). Ao longo do século passado, a investigação produziu muitos novos antibióticos. Desde a década de 1990, no entanto, o número de agentes antimicrobianos descobertos diminuiu significativamente, com um aumento simultâneo e alarmante do fenômeno da resistência aos antibióticos (Terreni; Tacani; Pregnotato, 2021).

O termo antimicrobiano é comumente utilizado e inclui, além das substâncias que atuam sobre as bactérias, substâncias que interferem no crescimento e/ou reprodução de outros microrganismos, como vírus, fungos e parasitas. Os antibióticos são substâncias que podem impedir a reprodução de bactérias ou matá-las. Quando esse objetivo é alcançado, destaca-se que o microrganismo é sensível ao medicamento. Porém, quando são necessárias altas doses de antibióticos e seus efeitos são ineficazes, o microrganismo é considerado resistente (Sampaio *et al.*, 2018).

A disponibilidade e o fornecimento sustentáveis de antimicrobianos estão sob constante ameaça, a nível local e global. A escassez de antimicrobianos dificulta cada vez mais o acesso atempado a tratamentos eficazes (Shafiq *et al.*, 2021). Portanto, o atual

aumento da resistência aos medicamentos em patógenos pode ser devido ao aumento do uso indiscriminado de antibióticos atualmente, o que levou ao fenômeno da resistência bacteriana aos microbianos (Numan *et al.*, 2018). Para superar este tipo de resistência aos medicamentos por parte dos patógenos, é necessário desenvolver antibióticos a partir de novas fontes.

Os carotenóides são os pigmentos mais diversos e comuns encontrados na natureza. Além disso, todos eles compartilham a mesma estrutura de unidades de isopreno e são classificados como carotenos se forem hidrocarbonetos e xantofilas se forem derivados do oxigenados. Os carotenóides mais comuns são baseados em uma cadeia de carbono C40 simétrica, por exemplo, carotenos como β -caroteno e licopeno, e xantofilas como astaxantina, zeaxantina e β -criptoxantina. Os carotenóides menos frequentes são aqueles com comprimentos de cadeia C30 e C50, que só podem ser encontrados em bactérias não fotossintéticas e arqueas (Vila *et al.*, 2019).

Embora as bactérias estejam normalmente relacionadas a patologias humanas, os carotenóides das bactérias são tão seguros quanto os obtidos de fontes convencionais, como plantas, ou através de síntese química. Portanto, os carotenóides bacterianos também podem ser utilizados em produtos farmacêuticos, nutracêuticos, cosméticos e alimentos (López *et al.*, 2023). Com base no exposto, este estudo teve como objetivo realizar um capítulo de livro com dados relacionados aos carotenóides utilizados como agentes antimicrobianos, listando dados dos últimos anos.

Carotenoides

Classificação, biossíntese e propriedades gerais

Os carotenoides são pigmentos lipossolúveis, altamente insaturados de cor vermelha, laranja ou amarela e podem ser encontrados em plantas, fungos, bactérias e algas (Bhatt; Patel, 2020). Sua estrutura isoprenoide determina suas atividades e propriedades medicinais. Atualmente são conhecidos 600 carotenoides e estima-se que esse número se aproxima dos 750 (Singh *et al.*, 2024). Entretanto, destes apenas 100 carotenoides são encontrados com frequência em alimentos consumidos diariamente. Os cinco principais carotenóides, como α -caroteno, β -caroteno, licopeno, β -criptoxantina, luteína e zeaxantina, constituem 95% da nossa dieta (Kiokias; Proestos; Varzakas, 2016; Singh *et al.*, 2024).

Os carotenoides são classes de moléculas sensíveis ao oxigênio, calor e luz (Higuera-Ciapura *et al.*, 2004; Kirti *et al.*, 2014). Grande parte de suas propriedades físico-químicas advém das ligações duplas conjugadas (CDBs). Os CDBs são responsáveis pela cor da maioria dos carotenoides, são necessários no mínimo sete CDBs para obter um carotenoide colorido (Mapelli-Brahm *et al.*, 2020). Esses pigmentos são divididos em grupos de carotenos livres de oxigênio (α -caroteno, β -caroteno, γ -caroteno, licopeno e toruleno) e xantofilas contendo oxigênio (astaxantina, luteína, zeaxantina, β -criptoxantina, fucoxantina e cantaxantina) (Aziz *et al.*, 2020; Niranjana *et al.*, 2015).

Atividades antioxidante, antimicrobiana e fotoprotetora são frequentemente associadas a esses pigmentos. Possuem como subproduto do seu metabolismo a vitamina A e por isso são frequentemente chamados de pró-vitamina A (Pradhan *et al.*, 2021; Singh *et al.*, 2024). Além de apresentarem efeitos benéficos sobre doenças cardiovasculares, cancro e cataratas (Hermanns *et al.*, 2020; Novoveská *et al.*, 2019). São amplamente utilizados na indústria alimentícia devido sua coloração, o que tem contribuído no crescimento desse mercado. Os pigmentos sintéticos são os mais utilizados industrialmente, uma pequena parcela é extraída de plantas, algas e microrganismos (Mezzomo; Ferreira, 2016).

Carotenoides microbianos tem se mostrado uma alternativa vantajosa quando comparados com cores artificiais e inorgânicas. Os fatores estão relacionados a fermentação que ocorre mais rápido e produtivo que outros processos químicos, crescimento rápido e fácil, requer meios de cultura baratos, independe de condições sazonais e permite maior diversidade de cores (Choksi; Vora; Shrivastava, 2020; Kirti *et al.*, 2014; Sen; Barrow; Deshmukh, 2019). Além de possuir inúmeras ações terapêuticas, incluindo antibióticas, antitumorais, cicatrizantes e antioxidantes (Choksi; Vora; Shrivastava, 2020).

Resistência bacteriana

A resistência bacteriana pode ocorrer de forma natural ou ser adquirida, podendo ter origem de mutações, aquisição de material genético e alteração da expressão de genes. Embora esse processo possa parecer inevitável, o uso generalizado e excessivo desses

medicamentos acelera o surgimento e disseminação de cepas resistentes em habitats humanos, animais e ambientais (Feng *et al.*, 2023).

Para o enfrentamento dos patógenos resistentes a antimicrobianos, a Organização Mundial da Saúde (OMS) listou as bactérias que apresentam prioridade global para o desenvolvimento de novas e eficientes alternativas terapêuticas (OMS, 2024). Isolados de *Acinetobacter baumannii*, *Mycobacterium tuberculosis* e das enterobactérias (Resistentes a carbapenêmicos e cefalosporinas) são patógenos de prioridade crítica para o desenvolvimento de novas terapias, pois são responsáveis por causar graves infecções (Ma *et al.*, 2020; Patil *et al.*, 2021). E mesmo que essas bactérias estejam envolvidas, em sua maioria, em infecções nosocomiais, esse patógenos podem estar presentes em diversos ambientes, como alimentos, água, solo, plantas e esgotos, que servem de reservatórios para essas bactérias (Klockgether; Tummler, 2017; Havenga *et al.*, 2019; Pachori *et al.*, 2019).

Dados revelam que mais de 700 mil pessoas morrem mundialmente devido a bactérias resistentes, mas esses números podem chegar a 10 milhões de mortes até 2050 (Mancuso *et al.*, 2021). As bactérias pertencentes a esse grupo, tem altos índices de resistência aos antibióticos disponíveis na clínica (Oliveira *et al.*, 2020; Bhatia *et al.*, 2021). Várias classes de importantes antibióticos como macrolídeos, tetraciclina, oxazolidinonas, β -lactâmicos, lipopeptídeos, combinações de inibidores de β -lactâmico- β -lactamase, bem como antibióticos de última linha, como glicopeptídeos, carbapenêmicos e polimixinas, já possuem resistência registrada em vários países (Zaman *et al.*, 2017).

Os altos índices de ineficácia desses antibióticos, são resultado da presença de diversos mecanismos de resistência e virulência (Gajdács *et al.*, 2021). Para resistir a ação de antibióticos, essas bactérias podem alterar o sítio alvo (ex. modificação de enzimas topoisomerase ou subunidades ribossômicas) (Wilson *et al.*, 2020), diminuir a absorção de drogas (ex. mutação em proteínas de membrana) (Zou *et al.*, 2020), produzir de biofilmes e enzimas degradantes (ex. β -lactamases) (Flach *et al.*, 2014), superexpressar de bombas de efluxo (Martins *et al.*, 2013) ou adaptar de vias metabólicas alternativas (por exemplo, metabolismo do ácido fólico) (Ryback; Bortfeld-Miller; Vorholt, 2022).

Carotenoides como agentes antimicrobianos

O crescente interesse em pesquisas que exploram a extração e identificação de compostos com propriedades antimicrobianas de diversas fontes ocorre devido à crescente resistência dos agentes infecciosos aos antibióticos tradicionais, o que limita sua eficácia (Mendes-Silva *et al.*, 2021). Esses compostos podem ser de natureza proteica, como proteínas, peptídeos e enzimas, ou metabólitos secundários, como antioxidantes, que são naturalmente produzidos pelas células. Os carotenoides têm demonstrado atividade antimicrobiana contra uma variedade de micro-organismos, incluindo bactérias, fungos e vírus, o que amplia seu potencial de aplicação (Lima, 2016).

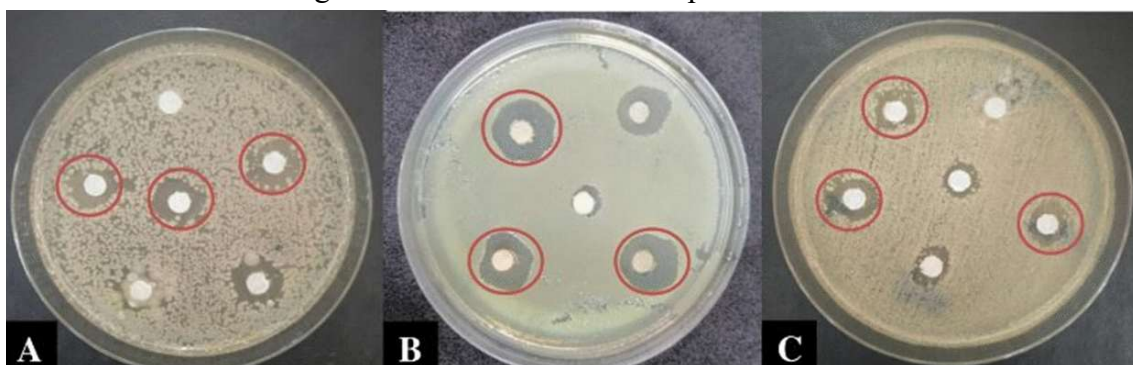
Eles atuam por diversos mecanismos, como desestabilização da membrana celular, inibição de enzimas vitais e interferência no metabolismo microbiano, o que reduz a probabilidade de resistência microbiana. São geralmente estáveis em diferentes condições ambientais, o que facilita sua incorporação em produtos diversos, como alimentos, cosméticos e materiais médicos. Além da atividade antimicrobiana, muitos carotenoides também exibem propriedades antioxidantes, o que pode contribuir para a proteção contra o estresse oxidativo e a manutenção da qualidade dos produtos (Monte Verde, 2023).

No trabalho de Silva (2020), foram analisadas diferentes cepas de *Rhodotorula* sp. para produção de carotenoides, utilizando soro de leite de queijo coalho como substrato em fermentação submersa. Das cepas testadas *Rhodotorula glutinis* foi a que apresentou o melhor resultado produzindo 69,32 mg/L de carotenoides totais a partir de 15,5 g/L de biomassa seca, com consumo de 8,16 g/L de lactose. Esses carotenoides mostraram atividade antimicrobiana contra bactérias gram-negativas e gram-positivas, inibindo significativamente o crescimento bacteriano. Além disso, apresentaram forte capacidade antioxidante, evidenciando seu potencial como aditivo alimentar natural alternativo. Os resultados sublinham a eficiência do uso do soro de leite como substrato na produção de carotenoides por *Rhodotorula* sp., destacando aplicações promissoras na indústria e na saúde alimentar.

Sahli *et al.*, (2022) realizaram testes antimicrobianos com carotenoides extraídos três cepas de haloarchaea: *Haloferax* sp. (ME16), *Halogeometricum* sp. (ME3) e *Haloarcula* sp. (BT9), contra oito cepas bacterianas patogênicas para humanos e peixes. As cepas patogênicas humanas foram *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumonia*,

Pseudomonas aeruginosa e *Staphylococcus aureus* e as patogênicas de peixes incluíram *Pseudomonas anguilliseptica*, *Aeromonas salmonicida*, *Vibrio anguillarum* e *Photobacterium damsela*. Os resultados revelaram que todas as cepas testadas tiveram seu crescimento inibido, exceto *Aeromonas salmonicida*, com halos de inibição de até 13 mm (fig. 1).

Figura 1. Teste antimicrobiano por difusão em disco.



Legenda: (A): extratos de ME3 contra *Vibrio anguillarum*; (B): extratos de BT9 contra *Pseudomonas aeruginosa*; (C): extratos de ME16 contra *Pseudomonas anguilliseptica*. Os círculos vermelhos delimitam as zonas de inibição. Fonte: (Sahli et al., 2022)

Os carotenoides emergem como promissores agentes antimicrobianos devido às suas propriedades eficazes contra uma ampla gama de microorganismos incluindo bactérias, fungos e vírus. Suas atividades são fundamentadas em diversos mecanismos de ação, que vão desde a interferência na integridade da membrana celular até a inibição de processos metabólicos essenciais nos microrganismos.

CONCLUSÃO

Para avançar nesse campo promissor, futuras pesquisas devem se concentrar na compreensão mais aprofundada dos mecanismos de resistência desenvolvidos pelos micro-organismos frente aos carotenoides. Além disso, é essencial explorar formulações inovadoras que otimizem a eficácia antimicrobiana dos carotenoides em diferentes contextos, garantindo ao mesmo tempo sua segurança e estabilidade. Estudos adicionais sobre a segurança a longo prazo e a toxicidade dos carotenoides são necessários para

respaldar seu uso em aplicações terapêuticas e industriais. Assim, os carotenoides não apenas oferecem uma alternativa natural e eficaz aos agentes antimicrobianos convencionais, mas também apresentam potencial para transformar o paradigma atual de combate às infecções microbianas, contribuindo significativamente para a saúde pública e para a indústria farmacêutica e alimentícia.

REFERÊNCIAS

- BHATIA, P. *et al.* Antibacterial activity of medicinal plants against ESKAPE: An update. *Heliyon*, v. 7, n. 2, p. e06310, 2021.
- BHATT, T.; PATEL, K. Carotenoids: Potent to Prevent Diseases Review. *Natural Products and Bioprospecting*, v. 10, n. 3, p. 109–117, 1 jun. 2020.
- BRUNA, Tamara *et al.* Silver nanoparticles and their antibacterial applications. *International journal of molecular sciences*, v. 22, n. 13, p. 7202, 2021.
- BOER, F. Y., IMHOF, A., VELIKOV, K. P. Encapsulation of colorants by natural polymers for food applications. *Coloration Technol.*, v.135, p. 183 – 194, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/cote.12393>
- CHADNI, Z., RAHAMAN, MH, JERIN, I., HOQUE, KMF e Reza, MA (2017). Extração e otimização da produção de pigmento vermelho como metabólitos secundários de *Talaromyces verruculosus* e seu potencial uso na indústria têxtil. *Micologia* , 8 (1), 48–57. <https://doi.org/10.1080/21501203.2017.1302013>
- CHOKSI, J.; VORA, J.; SHRIVASTAVA, N. Bioactive Pigments from Isolated Bacteria and Its Antibacterial, Antioxidant and Sun Protective Application Useful for Cosmetic Products. *Indian Journal of Microbiology*, v. 60, n. 3, p. 379–382, 1 set. 2020.
- FRANÇA, F. V. C. Compostos bioativos de frutas amazônicas e suas utilizações: revisão integrativa. 2022. DOI: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/28459>
- FENG, J. *et al.* Multitarget antibacterial drugs: An effective strategy to combat bacterial resistance. *Pharmacology & Therapeutics*, p. 108550, 2023.

- FLACH, J. *et al.* Adhesion and production of degrading enzymes by bacteria isolated from biofilms in raw milk cooling tanks. *Food Science and Technology*, v. 34, p. 571-576, 2014.
- HALLIWELL, B. Biochemistry of oxidative stress. *Biochem Soc Trans*, v. 35, n. Pt 5, p. 1147-1150, nov. 2007. PMID: 17956298. DOI: 10.1042/BST0351147.
- HAVENGA, B. *et al.* Exploring the antimicrobial resistance profiles of WHO critical priority list bacterial strains. *BMC microbiology*, v. 19, p. 1-16, 2019.
- HERMANN, A. S. *et al.* Carotenoid Pigment Accumulation in Horticultural Plants. *Horticultural Plant Journal*, v. 6, n. 6, p. 343–360, 1 nov. 2020.
- KIOKIAS, S.; PROESTOS, C.; VARZAKAS, T. A review of the structure, biosynthesis, absorption of carotenoids-analysis and properties of their common natural extracts. *Current Research in Nutrition and Food Science*, v. 4, n. SpecialIssue1, p. 25–37, 2016.
- KIRTI, K. *et al.* Colorful World of Microbes: Carotenoids and Their Applications. *Advances in Biology*, v. 2014, n. 1, p. 837891, 1 jan. 2014.
- KLOCKGETHER, J.; TÜMMLER, B. Recent advances in understanding *Pseudomonas aeruginosa* as a pathogen. *Food Research*, v. 6, 2017.
- LAMBERT, P. A. Bacterial resistance to antibiotics: modified target sites. *Advanced drug delivery reviews*, v. 57, n. 10, p. 1471-1485, 2005.
- LEITÃO, Amanda Cavalcante. Avaliação in vitro da atividade antibacteriana da menadiona isolada e associada à oxacilina frente a cepas de *Staphylococcus aureus*: análise em células planctônicas e biofilme. 2023. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Médica) – Faculdade de Medicina, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/75001>
- LÓPEZ, Gerson-Dirceu *et al.* Bacterial carotenoids: extraction, characterization, and applications. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, v. 53, n. 6, p. 1239-1262, 2023.
- MA, Y. X. *et al.* Considerations and caveats in combating ESKAPE pathogens against nosocomial infections. *Advanced Science*, v. 7, n. 1, p. 1901872, 2020.

MANCUSO, G. *et al.* Bacterial antibiotic resistance: The most critical pathogens. *Pathogens*, v. 10, n. 10, p. 1310, 2021.

MARTINS, M. *et al.* A simple method for assessment of MDR bacteria for over-expressed efflux pumps. *The open microbiology journal*, v. 7, p. 72, 2013.

MENDES-SILVA, Tayane de Cássia Dias *et al.* Produção do carotenoide sarcinaxantina por *Kocuria palustris* isolada de solo de Caatinga do Nordeste do Brasil e suas atividades antioxidante e fotoprotetora. *Revista Eletrônica de Biotecnologia*, v. 53, setembro de 2021, páginas 44-53. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2021.05.004>.

MEZZOMO, N.; FERREIRA, S. R. S. Carotenoids Functionality, Sources, and Processing by Supercritical Technology: A Review. *Journal of Chemistry*, v. 2016, n. 1, p. 3164312, 1 jan. 2016.

MONTE VERDE, Priscila Chaves; GONÇALVES, Inaê Santos. Revisão bibliométrica: *Schinus terebinthifolia* e suas aplicações na agricultura e medicina. 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/3834>.

NOVOVESKÁ, L. *et al.* Microalgal Carotenoids: A Review of Production, Current Markets, Regulations, and Future Direction. *Marine Drugs* 2019, Vol. 17, Page 640, v. 17, n. 11, p. 640, 13 nov. 2019.

NUMAN, Muhammad *et al.* Therapeutic applications of bacterial pigments: a review of current status and future opportunities. *3 Biotech*, v. 8, p. 1-15, 2018.

OLIVEIRA, D. M. *et al.* Antimicrobial resistance in ESKAPE pathogens. *Clinical microbiology reviews*, v. 33, n. 3, p. e00181-19, 2020.

OMS Global Priority List of Antibiotic-Resistant Bacteria to Guide Research, Discovery, and Development of New Antibiotics. World Health Organisation (WHO) 2024.

PACHORI, P.; GOTHALWAL, R.; GANDHI, P. Emergence of antibiotic resistance *Pseudomonas aeruginosa* in intensive care unit; a critical review. *Genes & diseases*, v. 6, n. 2, p. 109-119, 2019.

PACHORI, P.; GOTHALWAL, R.; GANDHI, P. Emergence of antibiotic resistance *Pseudomonas aeruginosa* in intensive care unit; a critical review. *Genes & diseases*, v. 6, n. 2, p. 109-119, 2019.

PATIL, A. *et al.* Bacteriophages for ESKAPE: Role in pathogenicity and measures of control. *Expert Review of Anti-Infective Therapy*, v. 19, n. 7, p. 845-865, 2021.

PRADHAN, S. P. *et al.* Carotenoids. *Nutraceuticals and Health Care*, p. 135–157, 1 jan. 2021.

RAMALHO, A.; Funções plenamente reconhecidas de nutrientes: vitamina A, 4a. ed., Ilsi: São Paulo, 2010.

RYBACK, B. ; BORTFELD-MILLER, M.; VORHOLT, J. A. Metabolic adaptation to vitamin auxotrophy by leaf-associated bacteria. *The ISME Journal*, v. 16, n. 12, p. 2712-2724, 2022.

SAHLI, K. *et al.* Characterization and biological activities of carotenoids produced by three haloarchaeal strains isolated from Algerian salt lakes. *Archives of Microbiology*, v. 204, n. 1, p. 1-10, 1 jan 2022.

SAMPAIO, P. S.; SANCHO, L.; LAGO, R. F. Implementação da nova regulamentação para prescrição e dispensação de antimicrobianos: possibilidades e desafios. *Cadernos Saúde Coletiva*, v. 26, p. 15-22, 2018.

SEN, T.; BARROW, C. J.; DESHMUKH, S. K. Microbial pigments in the food industry —challenges and the way forward. *Frontiers in Nutrition*, v. 6, p. 418288, 5 mar. 2019.

SILVA, Sabrina Roberta Santana da. Potencial biotecnológico da produção de pigmentos carotenoides por *Rhodotorula* spp. em soro de queijo coalho. Tese. VETTESSES, ID: vtt-222191, Biblioteca responsável: BR68.1.

<https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/vtt-222191>

SINGH, A. *et al.* Recent Advancement in Therapeutic Activity of Carotenoids. 20 mar. 2024.

SHAFIQ, Nusrat *et al.* Shortage of essential antimicrobials: a major challenge to global health security. *BMJ global health*, v. 6, n. 11, p. e006961, 2021.

TERRENI, Marco; TACCANI, Marina; PREGNOLATO, Massimo. New antibiotics for multidrug-resistant bacterial strains: latest research developments and future perspectives. *Molecules*, v. 26, n. 9, p. 2671, 2021.

WILSON, D. N. *et al.* Target protection as a key antibiotic resistance mechanism. *Nature Reviews Microbiology*, v. 18, n. 11, p. 637-648, 2020.

ZAMAN, S. B. *et al.* A review on antibiotic resistance: alarm bells are ringing. *Cureus*, v. 9, n. 6, 2017.

ZOU, L. *et al.* Bacterial metabolism rescues the inhibition of intestinal drug absorption by food and drug additives. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 117, n. 27, p. 16009-16018, 2020.

CAPÍTULO 08

DOI:10.29327/5586690.1-8

SORO DE LEITE: “OURO VERDE” OU UM RESÍDUO AGROINDUSTRIAL

WHEY: “GREEN GOLD” OR AN AGROINDUSTRIAL WASTE

Jefferson Renan Pinheiro Rodrigues
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Krause Gonçalves Silveira Albuquerque
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Mateus Ribeiro Costa
Universidade Federal de Pernambuco

Jaqueline dos Santos Silva Pinheiro Rodrigues
Universidade Federal de Pernambuco

João Paulo Alves Marinho
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Adamirely Bezerra de Melo
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Gerla Castello Branco Chinelate
Universidade Federal de Pernambuco

RESUMO:

A indústria de alimentos, especialmente os laticínios, gera uma grande quantidade de resíduos, como o soro de leite, que possui alto valor biológico e carga orgânica, podendo contaminar solos e lençóis freáticos se descartado inadequadamente. Este estudo visa analisar o soro de leite, discutindo seus aspectos positivos e negativos. Uma revisão narrativa foi realizada utilizando os bancos de dados PubMed, SciELO, Portal de Periódicos Capes e Science Direct, de setembro de 2023 a outubro de 2024. A má gestão do soro impacta negativamente o meio ambiente, a saúde e a economia. Por outro lado, considera-se o soro como um coproduto, destacando sua composição nutricional, versatilidade e possíveis aplicações, como subprodutos, bioativos ou revestimentos para alimentos. Investigar o uso do soro de leite pode promover desenvolvimento técnico-científico sustentável na produção de alimentos. O termo "ouro verde" ressalta a importância deste nutricionalmente, economicamente e ambientalmente. Portanto, é crucial desenvolver abordagens adequadas para a gestão sustentável dos resíduos agroindustriais, transformando-os em produtos de valor agregado para diversos setores industriais.

PALAVRAS-CHAVES: Soro de leite; Resíduos; Agroindústria; Alimentos; Lácteos.

INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca como um dos principais protagonistas globais na produção de laticínios, gozando de uma notável proeminência econômica neste domínio. O leite, reconhecido como uma das *commodities* agroalimentares mais críticas à escala mundial, é elogiado não apenas pelo seu aporte econômico, mas também pela sua qualidade intrínseca como um alimento natural de exímio valor nutricional (Teixeira *et al.*, 2020). Trata-se de uma rica fonte de cálcio, proteínas de alto valor biológico, bem como vitaminas e minerais essenciais para a saúde humana. Por meio da aplicação de procedimentos tecnológicos que envolvem a separação, adição ou remoção de seus componentes, é viável a obtenção de uma multiplicidade de produtos laticínios, todos eles carregados de valor comercial e nutricional (Foroutan *et al.*, 2019).

Estes produtos abrangem uma diversificada gama de derivados lácteos, tais como: queijos, bebidas lácteas, emulsões, gorduras lácteas e queijos fundidos. Dentro desse conjunto de subprodutos, destaca-se o soro de leite, um subproduto inerente à coagulação do leite no processo de fabricação de queijos, que tem demonstrado notável relevância nas operações das indústrias de processamento de produtos lácteos, devido ao seu papel

essencial como matéria-prima fundamental na formulação de alimentos (Ribeiro *et al.*, 2020).

No contexto do processo convencional de manufatura de queijos, procede-se à segregação de uma fração aquosa designada como soro de leite, a qual, em grande medida, é considerada um subproduto residual, sobretudo em instalações de produção artesanal, devido ao seu elevado teor de matéria orgânica (Santos de Lima *et al.*, 2021). No território brasileiro, aproximadamente 40% do soro de leite produzido é inadequadamente descartado, em sua maior parte por queijarias de pequeno e médio porte, resultando em graves impactos ambientais decorrentes da alta Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) exigida por essa substância que supera de 10 a 100 vezes os níveis encontrados no esgoto residencial (Salas-Vargas *et al.*, 2021). Em virtude disso, a valorização e reutilização deste efluente emergem como um imperativo crucial na atenuação dos impactos ambientais.

Neste contexto, os diferentes tamanhos de queijarias e sua dispersão pelo território brasileiro dificultam a implantação de uma processadora de soro ou inviabilizam a logística de coleta desse soro produzido apesar do seu alto valor biológico, nos últimos anos, o processamento industrial de soro, no Brasil, sofreu um processo de aceleração com implantação de fábricas processadoras de soro em alguns estados como: Minas Gerais, Paraná, Bahia, Rio Grande do Sul, Espírito Santo e Rondônia (Roberto Pasquini; Ferrarezi Junior, 2022).

O soro de leite, uma vez já considerado um coproduto secundário, agora é valorizado por suas notáveis propriedades e benefícios. Ele serve como matéria-prima essencial na formulação de produtos alimentares de alta qualidade, contribuindo para a criação de alimentos ricos em proteínas e nutrientes essenciais. Sua versatilidade torna possível a produção de uma variedade de itens que atendem às demandas dos consumidores por produtos saudáveis e saborosos (Clara *et al.*, 2022).

Nesta perspectiva, é evidente que o setor de laticínios no Brasil está aproveitando não apenas a produção de leite, mas também o potencial transformador do soro de leite. À medida que a indústria avança em tecnologia e inovação, espera-se que o soro de leite continue a desempenhar um papel central na expansão da oferta de produtos lácteos diversificados (soro de leite em pó, soro de leite desmineralizado, soro de leite deslactosado, alimentos e bebidas funcionais, ácido láctico, bioetanol, bioplásticos, filmes e biofilmes, biogás, concentrado de proteína de soro de leite (WPC), isolado de proteína

de soro de leite (WPI) ou lactose) e na ampliação do valor agregado a essa importante cadeia produtiva (Bitencourt *et al.*, 2023).

Dada a importância do soro de leite no contexto socioeconômico e ambiental, objetivou-se com este trabalho realizar uma revisão de literatura abordando as diferentes aplicações deste subproduto e seus impactos ao meio ambiente.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho trata de um estudo qualitativo, de natureza descritiva, que consiste em uma revisão sistemática narrativa conduzida no banco de dados PubMed, SciELO, Portal de periódicos Capes, Science Direct. A pesquisa foi conduzida ao longo de uma semana, abrangendo o período de 20 de setembro a 30 de março de 2013. Foram estabelecidos critérios de inclusão que se limitaram a artigos originais e se basearam nos descritores: "Resíduos agroindustriais", "Soro do Leite", "Ouro Verde", "Subproduto" e "Coproduto". Durante a fase inicial de busca utilizando os descritores citados (em inglês e em português).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

SORO DE LEITE

O soro de leite é um líquido de tonalidade amarelo-esverdeada, caracterizado por um sabor levemente ácido ou doce, a depender do processo de coagulação feito na produção do queijo, e tem sua origem na coagulação do leite utilizado na produção de queijo (Asunis *et al.*, 2020). Costa *et al.* (2022) afirmam que a composição e a natureza do soro de leite produzido em ambientes industriais são altamente influenciadas pelo tipo de queijo em produção e pela tecnologia empregada no processo. A figura 1 apresenta um passo a passo do processo tecnológico da produção do queijo que resulta na formação do soro.

Na maioria das vezes os chamados "resíduos agroindustriais", contêm uma significativa quantidade de componentes de alto valor nutricional. Um exemplo é o soro, que representa aproximadamente 80% a 90% do volume total do leite utilizado na produção industrial de produtos lácteos (Salas-Vargas *et al.*, 2021). Os autores destacam

também que, o soro é rico em nutrientes, contendo cerca de 50% dos elementos presentes no leite original, tais como proteínas solúveis, lactose, vitaminas e minerais. A composição do soro de leite pode ser classificada em dois tipos distintos com base no seu valor de pH. Quando o pH está na faixa entre 5,9 e 6,6, ele é conhecido como "soro doce". Por outro lado, quando o soro é resultante da produção de caseína precipitada por ácidos e apresenta valores de pH entre 4,3 e 4,6, é denominado "soro ácido" (Gonzalez- Piedra *et al.*, 2021). A Tabela 1 a seguir detalha a composição dos soros doce e ácido para uma melhor compreensão.

Tabela 01: Composição estimada do soro de leite

Componentes	(%) Soro ácido	(%) Soro doce
Ácido láctico	0,1 - 0,8	0,1
Água	94 – 95	93 – 94
Gordura	0,3 - 0,6	0,3 - 0,5
Lactose	3,8 - 4,2	4,5 - 5,0
Compostos nitrogenados	0,6 - 0,8	0,8 - 1,0
Minerais	0,7 - 0,8	0,5 - 0,7

Fonte: Adaptado de Madrid *et al.*, 1995 apud Brito, 2021.

Ainda em relação a sua composição, o soro possui cerca de 93% de água, 5% de lactose, 0,7% a 0,9% de proteínas, 0,3% a 0,5% de gordura, 0,2% de ácido láctico e quantidades diminutas de vitaminas. As proteínas presentes no soro de leite abrangem uma variedade de componentes, incluindo a α -Lactalbumina, β -Lactoglobulina, albumina de soro, imunoglobulinas, proteose e peptonas (BAER *et al.*, 2001). Tais proteínas apresentam um alto valor biológicos, apresentando uma rápida digestão e estimulando a síntese de proteínas muscular, além de também possuir efeitos antioxidantes e terapêuticos (Corrochano *et al.*, 2018).

Em termos de geração, observa-se que aproximadamente de 1 a 6 litros de soro são produzidos para cada litro de leite processado. Além disso, para cada quilograma de queijo fabricado, são gerados impressionantes 10 quilogramas de soro (Antonelli *et al.*,

2019). Para Usmani *et al.* (2022), é importante destacar que a obtenção da proteína do soro de leite ocorre por meio do processo de precipitação da proteína caseína. Essas características peculiares do soro de leite o tornam um subproduto notável na indústria de alimentos, despertando interesse devido à sua riqueza nutricional e à sua versatilidade em aplicações na produção de alimentos e produtos relacionados.

Aplicações na agricultura

Nas vastas extensões das zonas rurais de países em desenvolvimento, as atividades econômicas se concentram predominantemente na criação de gado e na produção de laticínios, lideradas por pequenas empresas ou agricultores familiares. Nesse cenário, há uma contribuição para a segurança alimentar e para a subsistência para inúmeras famílias de pequenos produtores (Ramos *et al.*, 2024). Em 2018 a procura de produtos lácteos nos países em desenvolvimento aumentou significativamente (FAO, 2018; PIB, 2018).

Na indústria de laticínios, os principais subprodutos gerados, como as águas residuais e o soro de queijo, são caracterizados por seu importante valor nutricional, com teores significativos de matéria orgânica solúvel (Asas *et al.*, 2021). No entanto, apesar dessas propriedades valiosas, é comum o descarte inadequado do soro como um mero subproduto da produção de queijo. Essa prática acarreta um problema ambiental relevante, uma vez que o soro possui potencial para ser reutilizado de maneiras diversas, seja como ingrediente em produtos alimentícios, na alimentação animal ou na produção de biogás (Bella; Rao, 2021). A subutilização do soro não apenas representa uma perda econômica, mas também contribui para a poluição ambiental, destacando a necessidade de estratégias eficazes de gestão de resíduos na indústria de laticínios (Ramos *et al.*, 2024).

Uma estratégia de baixo custo e eficaz para o tratamento do soro na indústria de laticínios é a sua co-digestão com outros resíduos comuns em pequenas propriedades, como o esterco bovino. Um estudo demonstrou que a sinergia resultante da co-digestão anaeróbica desses substratos permite um aumento significativo nos rendimentos de biogás em comparação com a digestão de substratos de forma independente (Rico *et al.*, 2015).

Este soro residual possui características que fazem dele um substrato atrativo para a produção de metano por consórcios microbianos. Segundo Bella e Rao (2021), sua

biodegradabilidade gira em torno de 99% e é caracterizado por sua riqueza em macronutrientes, como proteínas (9%), lactose (70–80%), matéria orgânica (até 80 g/L de demanda química de oxigênio), minerais (8–20%), e baixas concentrações de peptídeos e lipídios hidrolisados. Para Jaimes-Estévez *et al.*, (2020), a união entre o soro e o esterco bovino pode renovar o conteúdo de microrganismos e fornecer nutrientes e oligoelementos essenciais para o crescimento bacteriano e arqueano, além disso, eles podem substituir o uso de produtos químicos na regulação do pH. Essa abordagem integrada não só promove a eficiência na gestão de resíduos, mas também maximiza os benefícios ambientais e econômicos da produção de biogás na indústria de laticínios.

O uso de efluentes de laticínios, sobretudo do soro de leite pode apresentar diversas aplicações e benefícios para a agricultura, contudo o processo de aplicação dos efluentes deve ser acompanhado de forma criteriosa, levando-se em consideração as áreas, definição de lâminas e frequência de aplicação, assim como deve ser realizado o monitoramento de tais áreas através de ensaios agronômicos (Ferraz, 2021). Além da adubação, o uso de soro de leite nas áreas de cultivo pode melhorar as características físicas do solo, diminuindo a compactação, pois a recuperação da estrutura do solo pode ser obtida através do manejo adequado do sistema, principalmente com o aumento dos teores de matéria orgânica do solo (MOS) (Teixeira, 2020).

O soro do leite pode ser vastamente empregado para auxiliar na adubação de culturas de interesse agrícola e está alinhado com uma agricultura orgânica e sustentável. Uma vez que a agricultura orgânica temo como princípio norteador o não uso de insumos artificiais e químicos durante o processo de cultivo, assim impactando positivamente o meio ambiente e os aspectos sociais, uma vez que o processo gera produtos mais saudáveis e evita a exposição dos trabalhadores do campo aos produtos químicos (Friedrich; Feiden; Fulber, 2022).

A busca por alimentos mais saudáveis e processos produtivos mais sustentáveis reforça a necessidade dos sistemas convencionais de produção agrícola se adaptarem as práticas sustentáveis, havendo uma tendência crescente de modelos cujas estruturas de produção estejam alinhadas com as demandas dos consumidores por sustentabilidade, assim como é preconizado na produção orgânica (Leitão; Ferreira, 2022).

Em um estudo recente, foi demonstrado que o uso do soro de leite diluído para adubação da cana-de-açúcar colabora com o desenvolvimento da cultivar, reduzindo

custos de produção. Contudo os autores indicam ainda a necessidade de mais pesquisas na área de forma a caracterizar os efeitos a longo prazo do uso do soro na cultura da cana-de-açúcar (Lima *et al.*, 2022).

IMPACTO AMBIENTAL DO SORO DO LEITE

O Brasil se destaca em várias áreas da agropecuária, com a produção de leite sendo uma delas, onde as indústrias de laticínios desempenham um papel fundamental, não apenas na produção de leite, mas também na fabricação de seus produtos derivados, como queijo, manteiga, requeijão e outros. O setor lácteo tem demonstrado um crescimento contínuo, com um marco expressivo em 2020, quando alcançou a impressionante marca de 35,4 bilhões de litros de leite produzidos em um único ano (Brasil, 2021).

Sob a ótica econômica, a inadequada dispersão do soro de leite representa um desafio significativo que demanda um investimento considerável de recursos financeiros. É notável que aproximadamente 85% do leite que é processado em instalações industriais acaba sendo descartado. Esse desperdício ocorre principalmente devido à falta de infraestrutura apropriada, que é uma carência frequentemente observada em muitos laticínios, sobretudo aqueles de pequeno e médio porte. Essas empresas, que frequentemente enfrentam limitações em termos de recursos e capacidade técnica, acabam por não conseguir reduzir ou eliminar o impacto ambiental associado ao processo industrial (Salas-Vargas *et al.*, 2021).

Embora possa ser utilizado como suplemento nutricional para o gado, isso não é suficiente para aproveitar todo o soro, levando ao seu descarte em corpos d'água ou campos de cultivo (Addai *et al.*, 2020). Os autores de ambos os trabalhos convergiram na ideia de que esse subproduto industrial apresenta um elevado teor de matéria orgânica, atingindo até uma faixa de 25.000 a 80.000 mg/L de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Se não for devidamente tratado e descartado, como é o caso das pequenas queijarias e alguns laticínios, o soro de leite pode causar uma série de problemas ambientais (Salas-Vargas *et al.*, 2021; Addai *et al.*, 2020).

De acordo com Silva (2011) o soro é aproximadamente cem vezes mais poluente que o esgoto doméstico, o leiteiro e o leite ácido, tendo em vista seus valores nutritivos e

seu elevado teor de carga orgânica, sendo recomendado a coleta dos diferentes resíduos gerados pelos laticínios para o adequado uso como subproduto ou tratamento. Nunes *et al.* (2018) identificaram em seu trabalho que a demanda de oxigênio do soro de leite pode chegar a aproximadamente 80.000 mg O₂ L⁻¹.

Além disso, o descarte do soro em cursos d'água pode levar ao crescimento excessivo de algas e microrganismos devido ao aumento da disponibilidade de nutrientes, resultando em eutrofização (Najar-Almanzor *et al.*, 2023). Ainda conforme os autores, o processo de eutrofização, por sua vez, pode causar a morte de peixes e a deterioração dos ecossistemas aquáticos. No contexto agrícola, o uso do soro de leite para irrigação em campos pode ter efeitos prejudiciais. Isso ocorre porque o soro pode modificar o pH do solo e afetar sua fertilidade, o que pode reduzir o rendimento das culturas. Isso pode ter implicações significativas na produção de alimentos e na sustentabilidade agrícola (Asunis *et al.*, 2021).

No que diz respeito ao descarte inadequado de soro de leite diretamente no solo, é possível a geração de contaminações do solo com nutrientes em excesso, como nitrogênio e fósforo, onde tais nutrientes podem lixiviar para os lençóis freáticos, causando a poluição tanto do solo quanto de fontes subterrâneas de água (Asunis *et al.*, 2020). Tal situação pode gerar ainda o surgimento de odores desagradáveis, gerando inconvenientes para a população local (Zhang *et al.*, 2018; Khan *et al.*, 2019)

A contaminação de águas superficiais e subterrâneas pelo soro de leite, representa um risco para a saúde pública, uma vez que essas fontes de água são utilizadas para diferentes fins, frequentemente sendo usadas para abastecimento humano e animal, assim, torna-se crucial a adoção de práticas de gestão responsável dos efluentes dos laticínios, bem como seu tratamento adequado e reutilização, para minimizar os impactos negativos no meio ambiente, por consequência, influenciando na saúde pública (Usmani *et al.*, 2022).

APLICAÇÃO TECNOLÓGICA E INOVAÇÃO

Cosméticos

A indústria de cosméticos busca constantemente ingredientes inovadores com maior potencial bioativo e melhor disponibilidade para atender à crescente demanda por

produtos naturais e orgânicos. Isso abrange uma ampla variedade de matérias-primas, desde resíduos até óleos vegetais (Majchrzack, 2022). Há também a produção de cremes e loções para a pele, explorando as propriedades hidratantes e anti-inflamatórias, assim como tem sido explorado o tratamento de doenças de pele, tais como a dermatite atópica e psoríase a partir de produtos à base de soro de leite (DIAS *et al.*, 2017). Esses biofermentos desempenham um papel fundamental na restauração do equilíbrio natural do microbiota da pele, frequentemente perturbado por fatores externos, e estão diretamente ligados à promoção de uma pele saudável (Majchrzack, 2022).

Neste estudo de Speer *et al.* (2021), foram empregados os biopolímeros proteína de soro de leite e quitosana na criação de uma emulsão sensível à temperatura. As concentrações tanto da proteína de soro de leite quanto da quitosana foram variadas. Os resultados obtidos têm o potencial de informar o desenvolvimento de estratégias destinadas a incorporar materiais sensíveis à temperatura em formulações que sejam tanto estáveis e de alto desempenho, especialmente no contexto de produtos cosméticos. A emulsão óleo/emulsão contendo concentrado de proteína de soro de leite e quitosana evidenciou a capacidade de ajustar o comportamento sensível à temperatura e reológico por meio da utilização de diferentes tipos de óleos e condições específicas.

Embalagem de alimentos

A procura pelas chamadas embalagens “verdes” acelerou a investigação sobre embalagens ativas de base biológica. Filmes comestíveis ou biodegradáveis são alternativas verdes aos plásticos tradicionais e ajudam no controle da poluição ambiental (Zandona; Blazic; Rezek Jambrak, 2021c). Os chamados biofilmes apresentam muitas vantagens, pois podem preservar a umidade, evitar a perda de componentes importantes e ainda serem consumidos junto com o produto sem remoção prévia (Kamal; Ali; Le, 2023).

O reaproveitamento de produtos e subprodutos agroindustriais têm atraído interesse científico significativo para a exploração da proteína do soro do leite, pois os filmes que possuem este composto em sua formulação funcionam como barreira ao oxigênio e podem se biodegradar rapidamente, se destacando como produtos de fonte

sustentáveis e materiais alternativos biodegradáveis, podendo ser consideradas para substituição de filmes a base fibras sintéticas como o náilon e o poliéster (Xin *et al.*, 2023).

Assim, a utilização de filmes comestíveis em alimentos não só preserva suas características de qualidade, como cor, acidez, açúcar e sabor, mas conserva os valiosos componentes nutricionais e aumenta a vida de prateleira dos mesmos (Sessa *et al.*, 2015; Feng *et al.*, 2018). Além disso, a melhoria das propriedades físicas, funcionais e de textura desses filmes podem ser alcançadas por meio da adição de substâncias químicas, enzimas e probióticos, que promovem ligações intra e intermoleculares mais fortes (Soukoulis *et al.*, 2014).

Os filmes à base de soro proteínas são especialmente notáveis, devido à sua transparência, flexibilidade e ausência de odor e sabor, o que os torna amplamente utilizados em diversas aplicações (Ket-on *et al.*, 2016). Quando aplicados em alimentos, esses biofilmes demonstraram ser eficientes na extensão do período de vida útil. Isso ocorre porque esses filmes agem como uma barreira física ou termodinâmica, retardando reações prejudiciais e as taxas de transferência de gás e umidade entre o ambiente e o produto (Soukoulis *et al.*, 2014; Espitia *et al.*, 2016).

De acordo com a pesquisa de Rodrigues *et al.* (2022), a utilização do soro de leite líquido, como um solvente ecológico para matrizes hidrocoloidais, como o amido e a quitosana, demonstrou uma interação eficaz, resultando na produção de biofilmes com uma espessura uniforme e possibilidade de aplicação como revestimento para produtos lácteos.

O estudo de Marquez (2023), onde o autor elaborou filmes a base de proteínas do soro de leite demonstraram baixa tendência à deformação, bem como exibiram uma textura pegajosa. Filmes comestíveis são amplamente conhecidos pelos profissionais que atuam nos diversos seguimentos do setor de alimentos, não sendo considerados uma inovação por si só, constituindo-se como películas finas fabricadas a partir de polissacarídeos, proteínas, lipídios ou seus derivados. Esse tipo de filme se destaca como uma alternativa sustentável aos filmes convencionais à base de petróleo, visto que sua versatilidade permite que sejam consumidos junto com o produto, proporcionando uma solução "verde" para embalagens de alimentos (Dianin *et al.*, 2019). A aplicação desses filmes sobre a superfície dos produtos alimentícios pode ser realizada de várias maneiras,

incluindo pincelamento, pulverização ou imersão (Soukoulis *et al.*, 2014; Saadan *et al.*, 2017).

Desenvolvimento de produtos e processos

As proteínas de soro de leite podem ser amplamente utilizadas na elaboração de outros produtos alimentícios, tais como bebidas lácteas, pães, biscoitos, produtos cárneos e formulações específicas para o público infantil, sendo possível a substituição parcial ou total de gordura (Hammam; Admed, 2019).

No estudo realizado por Silva (2022), foi observado que as isoflavonas foram eficazmente incorporadas no isolado proteico de soro de leite por meio do processo de *spray-drying*. Esse processo resultou em um aumento significativo na concentração de fenólicos totais, triplicando em relação à forma livre das isoflavonas. Em relação à caracterização das microcápsulas obtidas, os resultados indicaram que essas apresentavam uma superfície rugosa e diâmetros médios variando de 2,5 a 4,3 μm . Além disso, os valores de atividade de água e umidade se mostraram adequados quando comparados com os dados disponíveis na literatura.

Ainda em relação ao estudo feito por Silva (2012), as análises infravermelhas e termogravimétricas realizadas confirmaram a eficiência do processo de encapsulação. Esses resultados sugerem que a técnica de *spray-drying* foi capaz de encapsular as isoflavonas de maneira eficaz, resultando em um aumento na concentração de fenólicos totais e na obtenção de microcápsulas com características físicas e químicas apropriadas.

O estudo conduzido por Braga (2015) investigou a viabilidade de utilizar componentes do leite e do soro de leite como materiais para revestimento, bem como a sua combinação com goma arábica e gelatina na criação de microcápsulas através da técnica de coacervação complexa.

Pode-se inferir que a utilização exclusiva de carboidratos e proteínas do leite como materiais de revestimento, nas condições avaliadas no estudo de Braga (2015), não resultou na formação de microcápsulas. No entanto, o autor observou que ao incorporar essas proteínas e carboidratos com gelatina e goma arábica, respectivamente, tornou-se possível obter microcápsulas com sucesso.

Aplicações em Nanotecnologia

Conforme Pizeta (2021), é inegável a importância da nanotecnologia para o aprimoramento de produtos e processos em diversos segmentos industriais e científicos. No ramo alimentício, as oportunidades e desafios que essa tecnologia oferece são numerosos, além disso, a nanotecnologia tem o potencial de desempenhar um papel crucial em alimentos, permitindo manutenção ou modificações em termos de cor, sabor e valor nutricional.

O estudo conduzido por Oliveira (2022), destaca a utilização de concentrado proteico de soro de leite para a criação de nanopartículas através da técnica de reticulação química. Além disso, investigou-se as interações resultantes da reticulação com as soluções de soro de leite não tratadas, empregando análises térmicas, espectroscópicas e microscópicas.

A análise das nanopartículas que continham concentrado proteico de soro de leite, realizada por meio da Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR), revelou a incorporação dos ácidos nas nanopartículas. Essa análise também indicou que a curva de uma das amostras apresentou diferenças significativas em relação às soluções de soro de leite que não passaram pelo processo de reticulação (Oliveira, 2022).

Produção de alimentos e bebidas funcionais

Os alimentos funcionais apresentam, para além da capacidade de nutrir, alguns efeitos metabólicos e fisiológicos no organismo humano, estando os seus efeitos associados a ingestão regular de frutas, verduras, cereais e outros alimentos ricos em fibras e outros nutrientes (Vidal *et al.*, 2012).

Os alimentos e bebidas funcionais são uma das categorias mais ambiciosas e inovadoras da indústria alimentar, continuando a gerar grande interesse entre muitos consumidores, pois oferecem benefícios para a saúde que vão além da nutrição básica. O

soro de leite e seus componentes são cada vez mais utilizados como ingredientes funcionais em produtos dietéticos e de saúde, enquanto os bioativos proteínas são mais frequentemente usadas tanto na indústria farmacêutica quanto indústrias nutricionais (Blazic *et al.*, 2018). Até o momento, os pesquisadores têm se concentrado na investigação da produção de bebidas à base de soro de leite de soro de leite agridoce nativo ou de soro de leite em pó, desproteínizado e diluído (Barukcic; Jakopovic; Bozanic, 2019).

As maiores empresas de laticínios no mundo já introduziram uma nova geração de produtos à base de soro de leite (De Matos Reis *et al.*, 2021). Os autores relatam ainda que a inclusão do soro de leite na bebida por eles desenvolvida revelou-se uma excelente escolha para aproveitar essa matéria-prima de custo mais acessível, resultando em um aumento na aceitação do produto. A formulação com uma proporção de 50% de leite e 50% de soro de leite obteve uma alta taxa de aprovação, com 91,5% entre as crianças e 73,6% entre os adolescentes.

Embora a produção de tais bebidas está provando ser a abordagem mais econômica para utilização do soro de leite na alimentação humana, existem diversas dificuldades quanto à sua produção, como a suscetibilidade à deterioração microbiana devido ao alto teor de água e a sensibilidade das proteínas do soro do leite a tratamentos térmicos em temperaturas superiores a 60 °C (Ribeiro *et al.*, 2020). A maioria das proteínas do soro precipitam após o tratamento térmico habitual do soro de leite (a 72 °C durante 15–20 s) (Zandona; Blazic; Rezek Jambrak, 2021b)

Portanto, muitas pesquisas visam implementar soluções não térmicas e técnicas na produção de bebidas à base de soro de leite, como a separação por membrana, ultrassom de alta intensidade ou tecnologia supercrítica de dióxido de carbono. A implementação de tais métodos não térmicos superam as dificuldades acima mencionadas e melhora as propriedades dos produtos desenvolvidos (Bauer *et al.*, 2020).

Produção de Bioativos

A proteína de soro hidrolisada, *Whey Protein Hydrolysate* (WPH), obtida por meio da hidrólise das moléculas de proteínas do soro, formam segmentos proteicos menores,

como aminoácidos e peptídeos de baixo peso molecular (SINHA *et al.*, 2017). O soro de leite é alvo de diversos estudos devido principalmente ao alto valor nutricional e potencial poluente. Contudo, para além disso, tal composto possui uma série de microrganismos, os quais podem ser isolados, caracterizados e analisados quanto as suas propriedades tecnológicas e funcionais, sendo possível a utilização deste em processos para produção de bioativos de interesse industrial, assim como o soro pode ser utilizado como substrato alternativo para o barateamento dos processos de produção de bioativos por microrganismos exógenos a tal meio.

Um desses bioativos são os pigmentos naturais, estudos realizados por Silva (2020), demonstraram que a produção de carotenoides por leveduras do gênero *Rhodotorula* em fermentação submersa tendo o soro de leite como principal substrato apresentou resultados promissores na produção do pigmento.

Avanços na tecnologia de isolamento de proteínas permitiram a separação das proteínas do soro de queijo em sua forma não desnaturada, levando à produção de outros dois subprodutos: o concentrado proteico de soro (WPC - *Whey Protein Concentrate*) e o permeado de soro de queijo, que apresenta uma alta concentração de lactose (Fox *et al.*, 2016). Uma aplicação alternativa do soro de queijo permeado é sua utilização como substrato em processos fermentativos utilizando microrganismos como bactérias, fungos filamentosos e leveduras, buscando obter produtos de alto valor comercial, tais como bioetanol, a enzima β -galactosidase e galactooligossacarídeos (Murari *et al.*, 2019; Fai *et al.*, 2014).

Mendonça *et al.* (2021) ao estudarem a produção de biossurfactantes por *Absidia cylindrospora*, utilizando o soro de leite como substrato, ressaltaram a viabilidade e adequação deste como substrato de baixo custo para processos biotecnológicos. A partir do estudo citado foi possível a produção tanto de biossurfactantes quanto de lipídios de interesse industrial.

Além dos pigmentos, biocombustíveis e enzimas, as proteínas do soro também apresentam potencial tecnológico para a indústria de alimentos como a capacidade emulsificante, espumante e gelificante devido às suas excelentes propriedades funcionais associadas às suas características físico-químicas e estruturais (PESCUMA *et al.*, 2010).

CONCLUSÃO

A revisão qualitativa realizada neste estudo revela claramente o potencial do soro como um composto nutricionalmente rico e com uma vasta gama de aplicações. Além de sua riqueza em nutrientes e alto teor de proteínas, o soro demonstra ser uma fonte valiosa com implicações econômicas significativas. Sua utilização eficaz não só pode aumentar as receitas, mas também reduzir o desperdício, contribuindo assim para a sustentabilidade financeira das indústrias alimentícias e agrícolas.

Contudo, percebe-se a necessidade da adequada manipulação de tal composto, de forma a evitar inconvenientes e prejuízos para o meio ambiente ou a sociedade em geral. Além disso, sua gestão adequada não só beneficia as operações comerciais, mas também reduz o impacto ambiental, promovendo práticas mais sustentáveis em toda a cadeia de produção. É fundamental reconhecer o papel do soro na promoção de práticas ambientalmente conscientes, de forma que o soro pode ser visto não como um subproduto, mas um coproduto do processamento de queijo, apresentando um alto valor agregado, de forma que o uso do termo “ouro verde” pode ser associado a tal produto ressaltando o seu valor comercial e seu apelo sustentável. Ao incentivar o uso consciente do soro de leite, não apenas garantimos uma abordagem mais sustentável para a produção de alimentos, mas também abrimos oportunidades para inovação e desenvolvimento de produtos com base em recursos até então subutilizados.

Portanto, é imperativo que haja uma valorização e um incentivo significativo para explorar todo o potencial do soro de leite. Sua natureza versátil não apenas abre portas para novas aplicações na área da saúde, economia e agricultura, como oferece uma solução tangível para desafios contemporâneos, como o desperdício de alimentos e os impactos ambientais da produção industrial. Ao adotar abordagens que valorizem e promovam o uso inteligente do soro, podemos otimizar os recursos disponíveis, promover um futuro mais sustentável e próspero para as gerações futuras.

REFERÊNCIAS

ABIQ – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE QUEIJO. São Paulo. Disponível em: <http://www.abiq.com.br/>. Acesso em Fevereiro de 2024.

ADDAI, F. P.; LIN, F.; WANG, T, KOSIBA, A. A.; SHENG, P.; YU, F.; GU, J.; ZHOU, Y.; SHI, H. Technical integrative approaches to cheese whey valorization towards

sustainable environment. *Food & Function*, v. 11, n. 10, p. 8407-8423, 2020. Disponível em: doi:10.1039/d0fo01484b. Acesso em: 06 fev. 2024

ALONGI M, ANESE M. Re-thinking functional food development through a holistic approach. *Journal Function Food*, v.81, n. 104466, 2021. Disponível em: doi:10.1016/j.jff.2021.104466.

ANDOYO R, DIANTI LESTARI V, MARDAWATI E, NURHADI B. Fractal dimension analysis of texture formation of whey protein-based foods. *Internacional Journal Food Science* v. 2018, n. e7673259, p. 1–17, 2018. Disponível em: doi:10.1155/2018/7673259.

ANTONELLI, J.; LINDINO, C. A.; AZEVEDO, J. C. R.; SOUZA, S. N.; CREMONHEZ, P. A.; ROSSI, E. Produção de biogás pela digestão anaeróbica do soro de leite, *Revista de Ciências Agrárias*, v. 39, n. 3, p. 463–467, 2019.

ASAS, C., LLANOS, C., MATACAVA, J., VERDEZOTO, D. *In: Whey: Environmental Impact, Uses and Applications via Biotechnology Mechanisms*, v. 2, n. 1), p. 147–154, 2021.

ASUNIS F.; DE GIOANNIS, G.; FRANCINI, G.; LOMBARDI, L.; MUNTONI, A.; POLETTINI, A.; POMI, R.; ROSSI, A.; SPIGA, D. Environmental life cycle assessment of polyhydroxyalkanoates production from cheese whey. *Waste management*, v. 132, p. 31–43, 2021.

ASUNIS F.; DE GIOANNIS, G.; FRANCINI, G.; LOMBARDI, L.; MUNTONI, A.; POLETTINI, A.; POMI, R.; ROSSI, A.; SPIGA, D. The dairy biorefinery: Integrating treatment processes for cheese whey valorization. *Journal of environmental management*, v. 276, 2020.

BAER, R. J.; RYALI, J.; SCHINGOETHE, D. J.; KASPERSON, K. M.; DONOVAN, D. C.; HIPPEN, A. R.; FRANKLIN, S. T. Composition and properties of milk and butter from cows fed fish oil. *Journal of Dairy Science*, v. 84, n. 2, p. 345–353, 2001.

BARUKČIĆ, I.; JAKOPOVIĆ, K. L.; BOŽANIĆ, R. Whey and Buttermilk—Neglected Sources of Valuable Beverages. *Natural Beverages: The Science of Beverages*, v. 13, p. 209–242, 2019.

BAUER, J. M. *et al.* Safety and tolerability of 6-month supplementation with a vitamin D, calcium and leucine-enriched whey protein medical nutrition drink in sarcopenic older adults. *Aging Clinical and Experimental Research*, v. 32, n. 8, p. 1501–1514, 2020.

BELLA, K., RAO, P.V. Anaerobic digestion of dairy wastewater: effect of different parameters and co-digestion options—a review. *In: Biomass Conversion and Biorefinery*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2021. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-01247-2>.

BENIWAL, A. *et al.* Harnessing the nutritional potential of concentrated whey for enhanced galactose flux in fermentative yeast. *LWT*, v. 141, p. 110840, 2021.

- BIERZUŃSKA P, CAIS-SOKOLIŃSKA D. Yoghurt enriched with polymerized whey protein. *Mljekarstvo*, v. 698, n. 4, p. 272–81, 2018
- BITENCOURT, T. B. *et al.* Uso de *Yarrowia lipolytica*, para produção de biomassa, utilizando soro de leite como fonte de carbono. *Brazilian Journal of Development*, v. 9, n. 2, p. 7905–7930, 2023.
- BLANCO, V. M. C.; OLIVEIRA, G. H. D.; ZAIAT, M. Dark fermentative biohydrogen production from synthetic cheese whey in an anaerobic structured-bed reactor: performance evaluation and kinetic modeling. *Renewable Energy: an international journal*, v. 139, p. 1310–1319, 2019.
- BLAŽIĆ, M. *et al.* Production of whey protein as nutritional valuable foods. *Croatian journal of food science and technology*, v. 10, n. 2, p. 255–260, 2018.
- BOSSO, A. *et al.* Substrate consumption and beta-galactosidase production by *Saccharomyces fragilis* IZ 275 grown in cheese whey as a function of cell growth rate. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 2019.
- BRAGA, A. Estudo de constituintes do leite e soro de leite como materiais de parede no processo de microencapsulação por coacervação complexa; Estudo de constituintes do leite e soro de leite como materiais de parede no processo de microencapsulação por coacervação complexa. Trabalho de Conclusão de Curso - Engenharia de Alimentos. Universidade Federal de Uberlândia Faculdade de Engenharia Química, dez. 2015.
- CLARA, C. *et al.* Profile of whey destination in the city of Barbacena and microregion - Minas Gerais. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 14, p. e224111435344, 2022.
- COSTA, C.; AZOIA, NG; COELHO, L.; FREIXO, R.; BATISTA, P.; PINTADO, M. Proteínas derivadas de perdas e subprodutos lácteos como matéria-prima para aplicações não alimentares. *Alimentos*, v. 135, n. 10, 2021
- COSTA, M. A. *et al.* Whey butter: a promising perspective for the dairy industry. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 25, 2022.
- DAS, B. *et al.* Recovery of whey proteins and lactose from dairy waste: A step towards green waste management. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 101, p. 27–33, 2016.
- DE MATOS REIS, S. *et al.* Development of milk drink with whey fermented and acceptability by children and adolescents. *Journal of Food Science and Technology*, v. 58, n. 7, p. 2847–2852, 23 jul. 2021.
- DIANIN, B. I.; OLIVEIRA, A. G.; PIMENTEL, T. C.; HERNANDES, N. F.; COSTA, G. N. Edible biofilms formulated with whey proteins isolate and *L. casei* probiotic culture: characterization and application in tomatoes or grapes. *Chemical Engineering Transactions*, v. 75. p. 469-474, 2019.

- DIAS, M. F. R. G.; SILVA, T. H.; REZENDE, C. A.; RODRIGUES, M. V. N.; OLIVEIRA, M. B. Leite e derivados no envelhecimento da pele: benefícios e dúvidas. *Revisões críticas em ciência dos alimentos e nutrição*, v. 57, n. 6, p. 1206-1217, 2017.
- DOS-SANTOS RIBEIRO, Steve Angstrom *et al.* Estudo preliminar da biodigestão de esterco bovino com soro de leite em sistema de digestão em duplo estágio com purificação de biogás. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 8, e646985911, 2020.
- ESPITIA, P. J.; BATISTA, R. A.; AZEREDO, H. M.; OTONI, C. G. Probióticos e suas potenciais aplicações em ativos filmes e revestimentos comestíveis, *Food Research International*, v. 90, p. 42-52, 2016.
- FAGBOHUNGBE, M. O.; ONYERI, C. A.; SEMPLER, K. T. Co-fermentation of whey permeates and cattle slurry using a partitioned up-flow anaerobic digestion tank, *Energy*, v. 185, p. 567-572, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.07.051>
- FAI, A. E. C.; SILVA, J. B.; ANDRADE, C. J.; BUTION, M. L.; PASTORE, G. M. Production of prebiotic galactooligosaccharides from lactose by *Pseudozyma tsukubaensis* and *Pichia kluyveri*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v. 3, n.4, p. 343-350, 2014.
- FANG T, SHEN X, HOU J, GUO M. Efeitos da proteína de soro de leite polimerizada preparada diretamente a partir de soro de queijo como substituto de gordura nas propriedades físico-químicas, textura, microestrutura e sensoriais de iogurte desnatado. *Lwt*, v. 115, n. e108268, 2019. Disponível em: doi:10.1016/j.lwt.2019.108268.
- FENG. Z.; WU, G.; LIU, C.; LI, D.; JIANG, B.; ZHANG, X.. Revestimento comestível à base de proteína isolada de soro de leite nanofibrilas para antioxidante e inibição do escurecimento do produto, *Food Hydrocolloids*, v. 79, p. 179-188, 2018.
- FERRAZ, K. C. R. Uso agrícola de soro de leite: efeitos no solo, na emissão de CO₂, na biomassa microbiana do solo e na produção vegetal. 2021. 93 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2021.
- FOROUTAN, A. *et al.* Chemical Composition of Commercial Cow's Milk. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 67, n. 17, p. 4897–4914, 1 maio 2019.
- FOX, P. F. e MCSWEENEY, P. L, H. *Dairy Chemistry and Biochemistry*, First Edition, London: Thomson Science, 378p. 1998.
- FRIEDRICH, J. C. C.; FEIDEN, A.; FULBER, V. M. Agricultura orgânica - Uma discussão sobre mercado de orgânicos na perspectiva local e internacional. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 12, 2022.
- GARCÍA, A. *et al.* Evaluation of antioxidant, antibacterial and physicochemical properties of whey protein-based edible films incorporated with different soy sauces. *LWT*, v. 117, n. e108587, jan. 2020.
- GIL, N. *et al.* Vacuum-Assisted Block Freeze Concentration Studies in Cheese Whey and Its Potential in Lactose Recovery. *Foods*, v. 12, n. 4, p. 836, 15 fev. 2023.

GLUŠAC J, STIJEPIĆ M, ĐURĐEVIĆ-MILOŠEVIĆ D, MILANOVIĆ S, KANURIĆ K, VUKIĆ V. Crescimento e viabilidade de *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* e *Streptococcus thermophilus* em iogurte tradicional enriquecido com mel e concentrado proteico de soro de leite. *Irã Journal Veterinary Research*, v. 16, n. 3, p.249–54, 2015

GONZALEZ-PIEDRA, S. *et al.* A study on the feasibility of anaerobic co-digestion of raw cheese whey with coffee pulp residues. *Energies*, v. 14, n. 12, p. 3611, 17 jun. 2021.

HASHEMI, S. S.; KARIMI, K.; TAHERZADEH, M. J. Valorization of vinasse and whey to protein and biogas through an environmental fungi-based biorefinery. *Journal of Environmental Management*, v. 303, p. 114138, fev. 2022.

JAIMES-ESTÉVEZ, J., CASTRO, L., ESCALANTE, H., CARRILLO, D., PORTILLO, S., SOTRES, A., MORÁN, A. Cheese whey co-digestion treatment in a tubular system: microbiological behaviour along the axial axis. *Biomass Conversion and Biorefinery*, v. 10, p. 1–10, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00988-4>

JAIMES-ESTÉVEZ, J.; MERCADO, E. V.; JARAMILLO, J. G.; RODRÍGUEZ, P.; MARTÍ-HERRERO, J.; ESCALANTE, H.; CASTRO, L. From laboratory to farm-scale psychrophilic anaerobic co-digestion of cheese whey and cattle manure. *Bioresource Technology Reports*, v. 19, n. e101168, 2022.

KAMAL, H.; ALI, A.; LE, C. F. Green solvent processing: Effect of type of solvent on extraction and quality of protein from dairy and non-dairy expired milk products. *Food Chemistry*, v. 400, n. e133988, jan. 2023.

KET-ON A., PONGMONGKOL N., SOMWANGT HANAROJ A., JANJARASSKUL T., TANAN UWONG K. Propriedades e estabilidade de armazenamento de filme comestível de proteína de soro de leite com especiarias em pó. *Revista de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 53, n. 7, p. 2933-2940, 2016

KHAN, S.; SHAHID, M.; NAWAZ, M; SHAH, A. A.; MAHMOOD, Q. Implicações ambientais do soro de queijo como um recurso valioso: uma revisão. *Ciência Ambiental e Pesquisa sobre Poluição*, v. 26, n. 16, 15694-15708, 2019.

KHORSHIDI M, HESHMATI A, TAHERI M, KARAMI M, MAHJUB R. Efeito do revestimento à base de proteína de soro de leite e xantana na viabilidade de *Lactobacillus acidophilus* microencapsulado e nas propriedades físico-químicas, texturais e sensoriais do iogurte. *Ciência Alimentar Nutricional*, v. 9, n. 7, p. 3942–53, 2021.

LEITÃO, F. O.; FERREIRA, G. M. F. Produção orgânica e economia circular: um estudo de caso dos tomates orgânicos. *Informe Gepec*, v. 26, n. 2, p. 108-126, jul./dez. 2022.

LIU, Y.; ZHANG, W.; ZHANG, L.; HETTINGA, K.; ZHOU, P. Caracterizando as alterações nas proteínas do soro do leite bovino após processamento industrial simulado. *LWT Ciência Alimentar. Tecnologia.*, v. 133, n. e110101, 2020

- LOVATO, G. *et al.* Methane Production by Co-Digesting Vinasse and Whey in an AnSBBR: Effect of Mixture Ratio and Feed Strategy. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, v. 187, n. 1, p. 28–46, 7 jan. 2019.
- MARQUEZ, A. Produção de biofilme a partir do soro de leite. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia de Alimentos. Universidade Tecnológica do Paraná, 2023.
- MENDONÇA, Rafael S. *et al.* Produção de biossurfactante e lipídeos por uma nova cepa de *Absidia cylindrospora* UCP 1301 isolada do solo da Caatinga usando subprodutos agroindustriais de baixo custo. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 1, p. 8300-8313, 2021.
- MINJ S, ANAND S. Whey proteins and its derivatives: bioactivity, functionality, and current applications. *Dairy*, v. 1, n. 3, p. 233–58, 2020. Disponível em: doi:10.3390/dairy1030016.
- MITRYUKOVSKIY, S. *et al.* On the influence of water on THz vibrational spectral features of molecular crystals. *Physical Chemistry Chemical Physics*, v. 24, n. 10, p. 6107-6125, 2022.
- MULEY, A. B.; SINGHAL, R. S. Extension of postharvest shelf life of strawberries (*Fragaria ananassa*) using a coating of chitosan-whey protein isolate conjugate. *Food chemistry*, v. 329, 1 nov. 2020.
- MURARI, C. S.; MACHADO, W. R. C.; SCHUINA, G. L.; DEL BIANCHI, V. L. Optimization of bioethanol production from cheese whey using *Kluyveromyces marxianus* URM 7404. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v. 20, 2019.
- NAJAR-ALMANZOR, C. E. *et al.* Microalgae-assisted green bioremediation of food-processing wastewater: A sustainable approach toward a circular economy concept. *Journal of Environmental Management*, v. 345, n. e118774, nov. 2023.
- NUNES, Luane Alcântara *et al.* O soro do leite, seus principais tratamentos e meios de valorização. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 11, n. 1, p. 301-326, 2018.
- OLIVEIRA, B. Produção e caracterização de nanopartículas do concentrado proteico do soro de leite (WPC). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 29 nov. 2022.
- PASQUINI, P. R; FERRAREZI-JUNIOR, E. Agroindústria de queijos artesanais. *Revista Interface Tecnológica*, v. 19, n. 2, p. 760–771, 20 dez. 2022.
- PESCUMA, M.; HÉBERT, E. M.; MOZZI, F.; FONT DE VALDEZ, G. Functional fermented whey-based beverage using lactic acid bacteria. *International Journal of Food Microbiology*, v. 141, n. 1–2, p. 73–81, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.04.011>
- PIZETA, M. Processos inovadores na formulação de cosméticos: aplicações de nanotecnologia. Universidade Federal de Uberlândia, 16 jun. 2021.
- RAMOS-SUÁREZ, J.; LVAREZ-MÉNDEZ, S.; RITTER, A.; GONZÁLEZ, J.; PÉREZ, A. A comprehensive evaluation of cheese whey to produce biogas in the Canary Islands. *Biomass and Bioenergy*, v. 180, n. e107008, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2023.107008>.

RIBEIRO, A. G. *et al.* Associações entre consumo de produtos lácteos, proteína C-reativa e perfil lipídico em adultos: resultados do ELSA-Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 36, n.1, e00028019, 20 dez. 2020.

RICO, C., MUNOZ, N., RICO, J. L. Anaerobic co-digestion of cheese whey and the screened liquid fraction of dairy manure in a single continuously stirred tank reactor process: limits in co-substrate ratios and organic loading rate. *Bioresources Technology* v. 189, p. 327–333, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.04.032>

RODRIGUES, J. R. P.; MIRANDA, K. W. E.; OLIVEIRA, N. S. I.; GALVÃO, A. M. M. T.; ARAÚJO, A. W. O.; SOUZA, T. M.; CHINELATE, G. C. B. O resíduo agroindustrial do soro de leite como solvente ecologicamente correto na elaboração de filme hidrocoloidal biopolimérico: o estudo das propriedades ópticas. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, v. 17, n. e254111739189, 2022. Disponível em: DOI: 10.33448/rsd-v11i17.39189. Acesso em: 26 fev. 2024.

SAADAN, M. Z. H.; MOHAMAD, Z.; JUSOH, M.; MAJID, R. A.; BAHARULRAZI, N.; MAN, S. H. C. Degradável filme de polietileno/farelo de arroz: efeito do glicerol. *Engenharia Química Tresgates*, 56, 49-54, 2017.

SALAS-VARGAS, C. *et al.* Environmental impact of Oaxaca cheese production and wastewater from artisanal dairies under two scenarios in Acapulco, State of Mexico. *Journal of Cleaner Production*, v. 311, n. e127586, 15 ago. 2021.

SANTOS DE LIMA, J. *et al.* Análise de viabilidade para investimento em uma planta de aproveitamento do soro do leite/ Feasibility analysis for investment for whey production plant. *Brazilian Applied Science Review*, v. 5, n. 4, p. 1881–1906, 28 jul. 2021.

SESSA M., FERRAR G., DONSI F. Revestimento comestível contendo óleo essencial e emulsões para prolongar vida útil de produtos vegetais, *Chemical Engineering Transactions*, v. 43, p. 55-60, 2015.

SILVA, A. N. Modelagem, simulação e análise técnico-financeira de uma unidade de processamento de soro de leite para produção integrada de concentrado proteico, lactose e etanol. 2011. 97f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa, 2011.

SILVA, N. Microencapsulação de isoflavonas em isolado proteico do soro de leite por *spray-drying*. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 29 nov. 2022.

SILVA, S. R. S. Potencial biotecnológico da produção de pigmentos carotenoides por *Rhodotorula* spp. em soro de queijo coalho. Tese (Doutorado em Biociência Animal). Recife. p. 26. 2020.

SOUKOULIS, C.; YONEKURA, L.; GAN, H. H.; BEHBOUDI-JOBBEHDAR, S.; PARMENTER, C.; FISK, I. Probiótico comestível filmes como uma nova estratégia para o desenvolvimento de produtos panificados funcionais: O caso do pão de forma. *Alimentos Hidrocolóides*, v. 39, p. 231-242, 2014.

SPEER, S. AMIN, S..Sustainable thermoresponsive whey protein- and chitosan-based oil-in-water emulsions for cosmetic applications. Food Technology and Biotechnology, 20 nov. 2021.

TEIXEIRA, D. *et al.* Cadeia produtiva do leite no Brasil: produção primária. [s.d.].

TEIXEIRA, Paulo *et al.* ASPECTOS AMBIENTAIS E AGRONÔMICOS DA DISPOSIÇÃO DE EFLUENTE DE LATICÍNIOS NO SOLO. 2020.

TRIBST, A. A. L. *et al.* Manufacture of a fermented dairy product using whey from sheep's milk cheese: An alternative to using the main by-product of sheep's milk cheese production in small farms. International Dairy Journal, v. 111, p. 104833, dez. 2020.

USMANI, Z. *et al.* Valorization of dairy waste and by-products through microbial bioprocesses. Bioresource technology, v. 346, 1 fev. 2022.

VIDAL, A. M.; DIAS, D. O.; MARTINS, E. S. M.; OLIVEIRA, R. S.; NASCIMENTO, R. M. S.; CORREIA, M. G. S. A ingestão de alimentos funcionais e sua contribuição para a diminuição da incidência de doenças”. Cadernos de Graduação Ciências Biológicas e da Saúde, v. 1, n.15, 2011.

WAJCHRZAK, W. MOTYL, L. SMIGIELSKI, K. Biological and Cosmetical Importance of Fermented Raw Materials: An Overview. Food Technology and Biotechnology, v.27, n.15, 28 jul. 2022.

XIN, Y. *et al.* Application of Whey Protein-Based Emulsion Coating Treatment in Fresh-Cut Apple Preservation. Foods, v. 12, n. 6, p. 1140, 8 mar. 2023.

YİĞİT A, BIELSKA P, CAIS-SOKOLIŃSKA D, SAMUR G. Whey proteins as a functional food: Health effects, functional properties, and applications in food. Journal Amin Nutrition Association, v. 42, n. 8, p. 758-768, 2023. Disponível em: doi:10.1080/27697061.2023.2169208

ZANDONA, E.; BLAŽIĆ, M.; REŽEK JAMBRAK, A. Whey Utilisation: Sustainable Uses and Environmental Approach. Food Technology and Biotechnology, v. 59, n. 2, p. 147–161, 22 jun. 2021c.

ZANDONA, E.; BLAŽIĆ, M.; REŽEK JAMBRAK, A. Whey Utilization: Sustainable Uses and Environmental Approach. Food Technology and Biotechnology, v. 59, n. 2, p. 147, 1 abr. 2021a.

ZANDONA, E.; BLAŽIĆ, M.; REŽEK JAMBRAK, A. Whey Utilization: Sustainable Uses and Environmental Approach. Food technology and biotechnology, v. 59, n. 2, p. 147–161, 1 abr. 2021b.

ZHANG X, SUN X, GAO F, WANG J, WANG C. Systematical characterization of physiochemical and rheological properties of thermal-induced polymerized whey protein. Journal Science Food Agriculture. v. 99, n. 2, p. 923–932, 2019.

ZHANG, Q.; WANG, Y.; ZHANG, H.; LIU, Y.; ZHANG, W.; Wu, H. Utilização de soro de queijo para produção de bioetanol e biogás: uma revisão. Revista de Gestão Ambiental, v. 206, p. 419-431, 2018

CAPÍTULO 9

DOI:10.29327/5586690.1-9

USO DE ENZIMAS PECTINASES E CELULASES NA PRODUÇÃO DE SUCOS: UMA REVISÃO DE LITERATURA

USE OF PECTINASE AND CELLULASE ENZYMES IN JUICE PRODUCTION: A LITERATURE REVIEW

Aline Maria Trindade da Silva
Universidade Federal de Pernambuco

Denílson Lopes Ferreira Guimarães
Universidade Federal de Pernambuco

Maria Vitória Lima Costa Donato
Universidade Federal de Pernambuco

Liderlanio de Almeida Araújo
Universidade Federal de Pernambuco

Gerla Castello Branco Chinelate
Universidade Federal de Pernambuco

RESUMO

Pectinases e celulasas são enzimas utilizadas na quebra das ligações glicosídicas em polissacarídeos. Devido a essa característica, são amplamente empregadas na indústria de sucos para melhorar o rendimento e a clarificação dos sucos de frutas. O objetivo deste trabalho é investigar a contribuição das pectinases e celulasas na produção de sucos de frutas. Para isso, foi realizada uma revisão da literatura, com a busca de artigos científicos publicados entre 2019 e 2024 nas bases acadêmicas SciELO, Web of Science e Google Acadêmico. Foram selecionados doze artigos com o intuito de responder à seguinte pergunta: “A aplicação das enzimas pectinase e celulase traz contribuições significativas na produção de sucos?”. Observou-se que o tratamento enzimático foi importante para intensificar a concentração de compostos antioxidantes e físico-químicos, além de aumentar o rendimento e melhorar a clarificação dos sucos. Desse modo, a aplicação industrial das enzimas demonstra elevado potencial de mercado, como melhorador de diversos produtos.

PALAVRAS-CHAVE: Celulase; Pectinase; Processamento de sucos.

INTRODUÇÃO

Suco de fruta é definido como a bebida não fermentada, não concentrada e não diluída, obtida da fruta madura e sã ou de parte do vegetal de origem, por processamento tecnológico adequado, submetida a tratamento que assegure a sua apresentação e conservação até o momento de consumo (Brasil, 2019). A origem histórica dos sucos de frutas está atrelada a civilizações antigas, à práticas culturais e a necessidade de utilizar o excedente de frutas, havendo evidências de sua produção em 6.000 a.C., nas regiões de Cáucaso e da Mesopotâmia (Shet *et al.*, 2017).

Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e de Bebidas Não Alcoólicas (2024), no ano de 2021, foram produzidos 1.799.173L de sucos e néctares no mercado brasileiro, tendo um consumo *per capita* de 8,43 L/hab/ano. De acordo com as características físico-químicas de cada fruta, os sucos apresentam diferentes graus de turbidez e presença de sedimentos naturais, devido a presença de materiais insolúveis (como fragmentos celulares do tecido polposo, pectinas, amidos, entre outros componentes não dissolvidos) que são responsáveis por características de sabor, aroma e cor do suco (Santin, 2004).

Pectinases são um grupo diverso de enzimas que degradam substâncias pécicas e estão entre as enzimas mais comercializadas, especialmente para a indústria alimentícia para melhorar o rendimento e a clarificação de sucos de frutas. Frutas ricas em pectina geram sucos com alta viscosidade e turbidez devido à presença de resíduos de pectina e outros polissacarídeos. Produzidas principalmente por fungos filamentosos, sua composição varia conforme o microrganismo. A seleção de isolados eficazes é crucial para o uso industrial, e pesquisas sobre essas enzimas são essenciais devido à busca por novos produtos. As pectinases, classificadas em poligalacturonases, pectina esterases, pectina liases e pectato liases, são usadas na indústria de processamento de frutas para reduzir a viscosidade dos sucos, prolongar sua vida útil e facilitar a extração, maceração, liquefação e clarificação (Guimarães, 2023; Sandri, 2010).

As celulasas são enzimas responsáveis pela degradação da celulose, promovendo a hidrólise das ligações químicas existentes entre as unidades de glicose. São conhecidas por serem biocatalisadores economicamente viáveis e altamente específicos que atuam em sinergia para a liberação de açúcares (Dal Magro, 2016). Entre as diferentes utilizações das celulasas, destacam-se a conversão de biomassa na produção de bioetanol, a utilização na indústria alimentar, alimentar para melhorar a qualidade sensorial da massa, a utilização na extração e clarificação de bebidas como o vinho e os sucos, e manutenção da estabilidade reológica dos produtos finais (Santana *et al.*, 2021).

Os processos enzimáticos são essenciais à produção moderna de sucos, oferecendo vantagens significativas em termos de rendimento, clareza e qualidade geral (Pui; Saleena, 2023). Algumas enzimas, como pectinases e celulasas, podem ser essenciais para aumentar a produtividade, extrair cor e compostos bioativos dos tecidos vegetais, reduzir a turbidez e viscosidade dos sucos, e melhorar a eficiência dos processos de clarificação e filtração, contribuindo para atender às exigências de qualidade do mercado consumidor (Dal Magro, 2016).

MATERIAIS E MÉTODOS

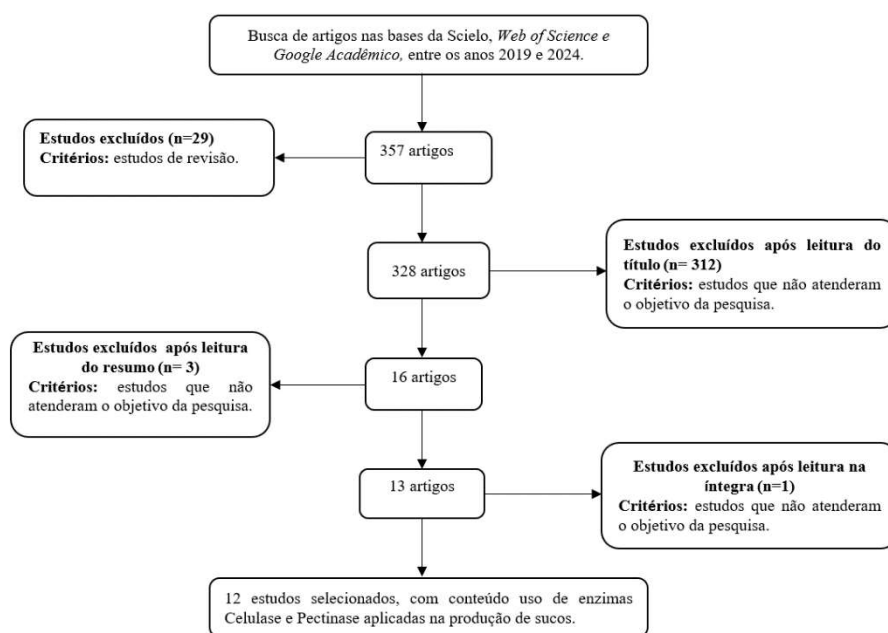
O referido estudo trata-se em uma revisão de literatura, realizada entre os meses de agosto e setembro de 2024, tendo como base publicações em formato de artigo científico, com o eixo central: “O uso de enzimas aplicadas a produção de sucos”, utilizando como base de dados as plataformas de pesquisa Google Acadêmico, Scielo e Web of Science.

Para melhor tratamento dos dados obtidos, optou-se por publicações no período entre 2019 e 2024.

A busca dos estudos aconteceu por meio do uso dos seguintes termos indexadores: suco combinando com os termos: pectinase e celulase. A busca foi realizada utilizando os termos também em idioma inglês, com o conectivo de ligação AND. Como critério de inclusão, considerou artigos de conhecimento teórico-empírico e trabalhos de teses e dissertações que estejam dentro do objetivo da pesquisa. Já os critérios de exclusão foram estudos repetidos, artigos de revisão e trabalhos que divergem do objetivo da pesquisa. Tais critérios objetivam responder a seguinte pergunta orientadora: A aplicação das enzimas Pectinase e Celulase tem contribuições significativas na produção de sucos?

Ao realizar a busca nas bases científicas, foram encontrados 357 artigos, dos quais, identificou-se 29 artigos de revisão, estes foram descartados, restando 328 estudos. Ao realizar a leitura dos títulos, foram identificados 312 trabalhos fora do objetivo da pesquisa, esses também foram excluídos. Em seguida, foi realizada a leitura dos resumos, onde excluiu-se 03 trabalhos que não tinham relação com a pesquisa. Por fim, realizou-se a leitura dos artigos na íntegra, selecionou-se 12 experiências, essas serão utilizadas na presente revisão (Figura 01).

Figura 01: Critérios de inclusão e exclusão de estudos sobre o uso das enzimas Pectinases e Celulases na Produção de Sucos



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a coleta nas bases acadêmicas, das 12 experiências selecionadas, 6 estudos abordam o uso de pectinases na produção de sucos, enquanto os outros 6 tratam da aplicação de celulases com a mesma finalidade. Além disso, verificou-se uma predominância de estudos produzidos nos países: Índia, China e Irã. Os principais resultados do levantamento dos estudos selecionados estão dispostos no Quadro 01.

As enzimas promovem a quebra de moléculas complexas, melhoram a extração de nutrientes e aumentam a clarificação dos sucos, resultando em maior rendimento e qualidade. Abdullah, Pradhan e Mishra (2021) avaliaram o efeito da celulase e da tanase no rendimento, no ácido ascórbico e em outras propriedades físico-químicas do suco de caju. Observaram que a aplicação de celulase aumentou o rendimento do suco em 4,69%, além de resultar em maior conteúdo de ácido ascórbico, menor turbidez, menor viscosidade e maior teor de compostos fenólicos, quando comparado ao suco tratado com tanase.

Ozyilmaz e Gunay (2023) destacam que a co-imobilização de amilase, pectinase e celulase para a clarificação de sucos de maçã, uva e pera aumentou a concentração de açúcares redutores, melhorou a estabilidade durante o armazenamento e reduziu a turbidez do suco de uva em até 73%, do suco de maçã em 67% e do suco de pera em 57%. Patel *et al.* (2022) descreveram que a aplicação de celulase no processo de extração de suco de jujuba indiana (*Ziziphus mauritiana*) aumentou o rendimento do suco (80,89%), reduziu a viscosidade (em até 1,5 cP) e elevou o teor de compostos fenólicos, a atividade antioxidante e o conteúdo proteico, em comparação ao suco sem tratamento.

Pradhan, Abdullah e Pradhan (2020) relataram que a aplicação da enzima celulase na extração de suco de Chironji (*Buchanania lanzan*) resultou em um aumento de até 16,09% no rendimento do suco em comparação ao suco não tratado, além de redução na viscosidade (até 1,3 cP) e na turbidez (139 NTU), e aumento na clareza, no teor de sólidos solúveis totais, no conteúdo fenólico e na atividade antioxidante. Santana *et al.* (2020) demonstraram que a aplicação de celulases de *Pseudozyma* sp. em sucos de tangerina teve impactos significativos no processo de clarificação, proporcionando

estabilidade térmica, aumento nos sólidos solúveis totais e uma redução de 65% na viscosidade do suco, o que facilitou o processo de filtração e aumentou a claridade do produto final.

Quadro 01: Levantamento dos Estudos sobre a aplicação de pectinases e amilases em sucos de frutas.

Sucos	Enzimas	Autor/Ano
Caju	Celulase e Tanase	Abdullah; Pradhan; Mishra (2021)
Pêra, uva e maçã	Amilase, Pectinase e Celulase	Ozyilmaz; Gunay (2023)
Jujuba indiana	Celulase	Patel <i>et al.</i> (2022)
<i>Chironji</i>	Celulase	Pradhan; Abdullah; Pradhan (2020)
Tangerina	Celulase	Santana <i>et al.</i> (2021)
Goiaba	Celulase e Poligalacturonase	Widowati <i>et al.</i> (2021)
Goiaba	Pectinase	Chen <i>et al.</i> (2023)
Pêra	Pectinase	Gani <i>et al.</i> (2021)
<i>Barberry</i>	Pectinase	Hosseini <i>et al.</i> (2021)
Abacaxi	Pectinase	Mohammadi <i>et al.</i> (2020)
Maçã	Pectinase	Nouri; Khodaiyan (2020)
Framboesa	Pectinase	Zhao <i>et al.</i> (2022)

Fonte: Própria (2024).

De acordo com Widowati *et al.* (2021), a aplicação de poligalacturonase e celulase parcialmente purificadas tem um impacto significativo na clarificação do suco de goiaba vermelha, resultando em redução da viscosidade, aumento do rendimento, da transparência e do teor de sólidos solúveis totais. As melhores condições de clarificação foram alcançadas com a incubação a 47,5°C por 90 minutos

O estudo conduzido por Chen *et al.* (2023) avaliou a variação das propriedades físico-químicas e antioxidantes em sucos de goiaba de diferentes cultivares, antes e após a aplicação de enzimas pectinases. O tratamento com pectinase demonstrou ser eficaz, com o rendimento do suco, os níveis de acidez titulável, componentes de açúcar, fenólicos totais, flavonoides totais e capacidade antioxidante superiores aos do grupo sem pectinase. Corroborando esses resultados, Gani *et al.* (2021) analisaram as propriedades físico-químicas e antioxidantes do suco de pera, variando a concentração de pectinase (0,4–2,4%), a temperatura de incubação (20–70 °C) e o tempo de incubação (13–147 min). A concentração de enzima foi diretamente proporcional à melhoria no rendimento do suco, resultando em melhores características físico-químicas e antioxidantes.

Hosseini *et al.* (2021) testaram polissacarídeos oxidados para imobilizar a pectinase em esferas de vidro, com o objetivo de utilizá-la em um leito fixo aplicado à clarificação de suco de Barberry, uma fruta comumente encontrada na Europa e na Ásia. Os resultados mostraram que o melhor desempenho do reator de leito fixo foi obtido com uma vazão de 0,5 mL/min, temperatura de 50 °C e tempo de tratamento de 63 minutos. A clarificação apresentou resultados positivos quanto à turbidez, pH, teor total de sólidos solúveis, viscosidade, compostos fenólicos totais e atividade antioxidante.

Segundo Mohammadi *et al.* (2020), a pectinase imobilizada apresenta maior poder clarificante em comparação à enzima livre. Os autores imobilizaram a pectinase em argila montmorilonita sililada, utilizando glutaraldeído como agente de reticulação, e obtiveram resultados positivos na clarificação de suco de abacaxi. Já Nouri e Khodaiyan (2020) avaliaram a imobilização da pectinase na clarificação de suco de maçã e demonstraram sua efetividade, além da melhoria nas propriedades bioquímicas. Esse método mostrou elevado potencial de aplicação na indústria alimentícia.

Zhao *et al.* (2022) testaram diferentes métodos de maceração com pectinase na produção de suco e vinho de framboesa, avaliando seus efeitos na qualidade dos produtos.

O processamento a 10 °C por 12 horas mostrou-se mais eficiente para a produção do suco de framboesa, resultando em melhor preservação dos compostos fenólicos e maior estabilidade de cor.

CONCLUSÃO

Diante do exposto, o estudo sobre a aplicação das enzimas celulase e pectinase na produção de sucos evidencia que essas enzimas têm uso em diversos tipos de sucos de frutas. O processo enzimático contribui para aumentar a intensidade dos compostos antioxidantes e físico-químicos, o que, conseqüentemente, influencia na qualidade sensorial. O aumento do rendimento dos sucos e a clarificação são as principais finalidades da aplicação dessas enzimas, demonstrando o potencial dessa área para diversas aplicações industriais e para o desenvolvimento de produtos com esse propósito.

REFERÊNCIAS

- ABDULLAH, S.; PRADHAN, R. C.; MISHRA, S. Effect of cellulase and tannase on yield, ascorbic acid and other physicochemical properties of cashew apple juice. *Fruits*, v. 76, n. 2, p. 51-60, 2021.
- ABIR. Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e Bebidas não-Alcoólicas. 2024. Disponível em: <https://abir.org.br/>. Acesso em: 10 set. 2024.
- BRASIL. Decreto nº 10.026, de 25 de setembro de 2019. Regulamenta a Lei nº 13.648, de 11 de abril de 2018, que dispõe sobre a produção de polpa e suco de frutas artesanais em estabelecimento familiar rural. *Diário Oficial da União – DOU*. 2019. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/d10026.htm. Acesso em: 10 set. 2024.
- CHEN, Xiaowei *et al.* Effects of pectinase pre-treatment on the physicochemical properties, bioactive compounds, and volatile components of juices from different cultivars of guava. *Foods*, v. 12, n. 2, p. 330, 2023.
- DAL MAGRO, L. Influência da composição de diferentes preparados enzimáticos na extração, qualidade e compostos bioativos do suco de uva da variedade “concord”. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Ciências e Tecnologia de Alimentos. 169 f. Porto Alegre-RS, 2016.
- GANI, Gousia *et al.* Physicochemical and antioxidant properties of pear juice prepared through pectinase enzyme-assisted extraction from William Bartlett variety. *Journal of Food Measurement and Characterization*, v. 15, p. 743-757, 2021.

Guimarães, Nelciele Cavaliere de Alencar. Produção, purificação e caracterização bioquímica de pectinases de *Aspergillus japonicus* e *Thermoascus aurantiacus*: aplicação da enzima de *A. japonicus* na clarificação de sucos de frutas. Tese de Doutorado apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul/UFMS. Instituto de Biociências, 132 f. Campo Grande, 2023.

HOSSEINI, Seyed Saeid *et al.* Clarificação contínua de suco de bérberis com pectinase imobilizada por polissacarídeos oxidados. *Tecnologia de Alimentos e Biotecnologia*, v. 59, n. 2, p. 174-184, 2021.

MOHAMMADI, Maryam *et al.* Immobilization and stabilization of pectinase on an activated montmorillonite support and its application in pineapple juice clarification. *Food Bioscience*, v. 36, p. 100625, 2020.

NOURI, Marjan; KHODAIYAN, Faramarz. Biocatalisadores magnéticos de pectinase: síntese por reticulador macromolecular para aplicação na clarificação de suco de maçã. *Tecnologia de Alimentos e Biotecnologia*, v. 58, n. 4, p. 391-401, 2020.

OZYILMAZ, Gul; GUNAY, Ecenur. Clarification of apple, grape and pear juices by co-immobilized amylase, pectinase and cellulase. *Food Chemistry*, v. 398, p. 133900, 2023.

PATEL, Gopesh *et al.* Indian jujube (*Ziziphus mauritiana* L.) fruit juice extraction using cellulase enzyme: modelling and optimization of approach by ANN-GA. *Applied Food Research*, v. 2, n. 1, p. 100080, 2022.

PRADHAN, Dileswar; ABDULLAH, S.; PRADHAN, Rama Chandra. Chironji (*Buchanania lanzan*) fruit juice extraction using cellulase enzyme: modelling and optimization of process by artificial neural network and response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology*, v. 58, p. 1051-1060, 2021.

PUI, L.; SALEENA, L. Enzyme-Aided Treatment of Fruit Juice: A Review. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-1-2413>.

SANDRI, Ivana Greice. Enzimas pectinolíticas: seleção de linhagens fúngicas produtoras, caracterização e aplicação em processos da indústria de alimentos. 2010.

SANTANA, Mona Liza *et al.* Clarification of tangerine juice using cellulases from *Pseudomyces* sp. *Journal of Food Science and Technology*, v. 58, p. 44-51, 2021.

SANTIN, M.M. Aplicação de tratamento enzimático combinado a microfiltração na clarificação de suco de pêssego. Dissertação (Mestrado). Programa de Mestrado em Engenharia de Alimentos. Departamento de Ciências Agrárias. Universidade de Erechim. Erechim-RS. 2004.

SHET, V.; Sd, S.; Mn, B.; MaryTeena, J.; VamanRao, C.; Aparna, A.; Yumnam, S. Production of Fermented Fruit Juice and Value Addition by Blending Medicinal Plants. *Journal of Bacteriology & Mycology: Open Access*, v.5, p.1-3. 2017. Disponível em : doi.org/10.15406/JBMOA.2017.05.00153.

ZHAO, Wenying *et al.* Effects of different pectinase maceration pre-treatments on physicochemical properties of raspberry juice and wine. *Czech Journal of Food Sciences*, v. 40, n. 3, 2022.

WIDOWATI, Esti *et al.* Effect of Partially Purified Polygalacturonase and Cellulase on Red Guava Juice Clarification at Various Incubation Times and Temperatures. Agritech, v. 41, n. 2, p. 145-151, 2021.

CAPÍTULO 10

DOI:10.29327/5586690.1-10

VIABILIDADE DE CERVEJAS ARTESANAIS COM ADIÇÃO DE SORO DE LEITE E/OU FRUTAS

FEASIBILITY OF CRAFT BEERS WITH THE ADD OF WHEY AND/OR FRUITS

Anuska Evily Batista dos Santos
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

João Paulo Alves Marinho
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Liderlanio de Almeida Araújo
Universidade Federal de Pernambuco

Gerla Castello Branco Chinelate
Universidade Federal de Pernambuco

RESUMO

A presente revisão teve como objetivo justificar e avaliar a viabilidade de cervejas artesanais com adição de soro de leite e/ou frutas. O uso do soro de leite na produção de cervejas oferece uma alternativa econômica e sustentável, aproveitando um subproduto da indústria de laticínios. A presença de lactose no soro pode ser fermentada por leveduras, resultando em uma bebida com potencial sensorial interessante. Estudos apontam que a combinação de soro de leite com frutas pode proporcionar cervejas com aromas e sabores diferenciados, além de aprimorar características sensoriais como cor e sabor. No caso da adição de frutas, desde clássicas até regionais, permite a criação de perfis sensoriais únicos. A Catharina Sour, estilo de cerveja criado por brasileiros, é um exemplo de inovação, onde frutas, especialmente tropicais, são usadas para equilibrar acidez e dulçor. Pesquisas sobre a produção de Catharina Sour com frutas como o umbu-cajá, o cupuaçu e o maracujá demonstram o potencial das frutas regionais para gerar novos produtos com características sensoriais marcantes. A intenção de desenvolver uma versão de Catharina Sour utilizando frutas regionais visa reforçar a identidade nacional e explorar sabores autênticos, agregando valor ao mercado de cervejas artesanais, além de contribuir para a sustentabilidade da indústria cervejeira.

PALAVRAS-CHAVE: Cerveja; Frutas; Soro de leite; Catharina sour; Sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

- **Contextualização do Tema e Relevância da Pesquisa:**

O cenário cervejeiro atual tem se transformado com o crescimento das cervejas artesanais, que vêm ganhando espaço no mercado nacional e internacional por meio da experimentação e da inovação de ingredientes. Um exemplo marcante dessa tendência é a incorporação de frutas na produção cervejeira, prática que remonta a receitas clássicas, como a Kriek – uma Lambic belga maturada com cerejas inteiras –, e que se expande para criações inovadoras como a Raspberry Stout, que combina a robustez de uma Stout com a acidez e o frescor das framboesas (Cerveja da casa, 2025). Essa abordagem não apenas confere aromas e sabores distintos à bebida, mas também atende a um público que busca alternativas ao amargor tradicional do lúpulo.

A relevância desta pesquisa se insere no contexto de um mercado em constante evolução, impulsionado pelo desejo dos consumidores por experiências sensoriais diferenciadas e pela valorização de ingredientes regionais. No Brasil, a popularização das cervejas artesanais tem estimulado o resgate da identidade nacional por meio do uso de frutas tropicais e outros adjuntos, exemplificado pelo surgimento da Catharina Sour – o primeiro estilo brasileiro oficialmente reconhecido – que destaca a acidez balanceada e os aromas intensos provenientes da adição de frutas frescas e especiarias (Cerveja e malte, 2021). Assim, a investigação sobre a viabilidade de cervejas que utilizem frutas na formulação se mostra pertinente, não apenas por promover a inovação tecnológica no processo produtivo, mas também por contribuir para a diversificação do portfólio de produtos e para o fortalecimento da cultura cervejeira nacional.

Justificar e avaliar a viabilidade técnica e mercadológica da incorporação de soro de leite e/ou frutas na formulação de cervejas artesanais para a implementação de um projeto com produção de cerveja com as características estudadas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Esta revisão sistemática teve como base a pesquisa e leitura de artigos científicos na base de dados Google Acadêmico, utilizando-se os seguintes descritores: “cerveja”, “soro de leite” e “frutas”. Como critérios de inclusão foram estabelecidos: artigos disponíveis on-line gratuitos, que apresentassem testes físico-químicos, nos idiomas português, inglês e espanhol, sites com assuntos pertinentes ao tema, e que foram publicados no período de 2019 a 2025. Em seguida foi feita a leitura dos resumos dos artigos, excluindo-se aqueles que não continham os critérios estabelecidos. Foram analisados 43 artigos científicos e sites referentes ao tema, sendo selecionados apenas 24 para contribuir com a construção deste artigo de revisão. Enfim, os textos selecionados foram lidos na íntegra e a partir disso iniciou-se a construção deste artigo de revisão.

Cervejas com Soro de Leite

A utilização do soro de leite na produção de bebidas fermentadas tem ganhado destaque, tanto pelo aproveitamento de um subproduto da indústria de laticínios quanto pelo potencial inovador na criação de bebidas alcoólicas com características sensoriais diferenciadas. Essa abordagem não só agrega valor ao soro, reduzindo seu impacto ambiental, como também oferece uma alternativa de baixo custo e rica em nutrientes para a produção de cervejas artesanais.

Caracterização e Composição do Soro de Leite

Conforme a Instrução Normativa nº 16, o soro de leite é definido como o líquido residual resultante da coagulação do leite na fabricação de queijos ou de caseína (Brasil, 2005). Esse subproduto é composto, em média, por 93,6% de água e 6,4% de sólidos. Em sua forma desidratada, o soro apresenta aproximadamente 12% de proteínas, 3% de gordura, 10% de minerais e 75% de lactose (Camirand & Pavlath, 1996). Outros estudos detalham sua composição em termos de carbono orgânico (25 g/L), nitrogênio (0,6 g/L), potássio (1,6 g/L), fósforo (0,6 g/L), cálcio (1,0 g/L), magnésio (0,1 g/L) e enxofre (0,05 g/L) – valores observados tanto para o soro ácido quanto para o soro doce, cuja diferença reside basicamente no método de coagulação – redução de pH para o ácido, e ação enzimática para o doce (Morris *et al.*, 1985; Modler, 1987). Essa composição nutricional, especialmente a alta concentração de lactose (cerca de 70% dos sólidos), torna o soro uma matéria-prima atrativa para processos fermentativos.

Aplicação do Soro de Leite na Fermentação e Desenvolvimento de Bebidas

Diversos estudos demonstram o potencial do soro de leite para a produção de bebidas alcoólicas. Em um dos estudos, o desenvolvimento e caracterização de uma bebida alcoólica fermentada a partir de soro lácteo foi realizado utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae*. Nas formulações, além do soro, foram adicionados sacarose (6% em todas as amostras) e polpa de morango, com o objetivo de aprimorar a palatabilidade e avaliar a aceitação sensorial do produto final. Os resultados indicaram um grau alcoólico compatível com o de outras bebidas fermentadas, enquanto os parâmetros de acidez e pH se mantiveram dentro dos limites estabelecidos para produtos lácteos, evidenciando a viabilidade técnica do processo. A aceitação sensorial, medida em uma

escala hedônica, variou entre “gostei ligeiramente” e “gostei regularmente” (notas 6 e 7, respectivamente) para os diversos atributos avaliados, demonstrando o potencial do produto para futuras aplicações comerciais (Reis, 2019).

O desempenho da fermentação com soro de leite também está intimamente relacionado à sua composição proteica e ao teor de compostos nitrogenados. Estudos ressaltam que os compostos nitrogenados presentes são essenciais para o crescimento celular da levedura, atuando na biossíntese de proteínas e no metabolismo enzimático, o que favorece a formação de etanol como principal metabolito (Goñi & Azpilicueta, 1999; Julien *et al.*, 1994, 2000). Nesse contexto, a adição de fontes de nitrogênio, como o fosfato de amônia dibásico, tem sido empregada para otimizar o processo fermentativo, melhorando a assimilação dos substratos e, consequentemente, o rendimento e a qualidade do produto final (Salmon & Barre, 1998).

Além do uso tradicional da *Saccharomyces cerevisiae*, pesquisas têm explorado a utilização de leveduras não convencionais (por exemplo, *Brettanomyces claussenii*) para fermentação da lactose. Nesses processos, o desafio reside na incapacidade das leveduras tradicionais de fermentar diretamente a lactose, o que demanda a ação prévia de bactérias ou enzimas para hidrolisar a lactose em açúcares simples, como a galactose, que então podem ser fermentados em álcool (EDairy News Brasil, 2024).

Em uma pesquisa aplicada à produção de uma cerveja “ale” tipo “stout”, a combinação de soro de leite com grãos de kefir (utilizados como substituto parcial da levedura) demonstrou ser eficaz na obtenção de um produto que atendeu aos padrões físico-químicos exigidos, com teor alcoólico entre 5% e 7% vol. Embora o uso dos grãos de kefir tenha reduzido a estabilidade da espuma devido à menor concentração de colóides proteicos, a avaliação sensorial apontou que formulações com maior proporção de soro de leite apresentaram características sensoriais aprimoradas, especialmente em termos de cor, sabor (notas de malta tostada e café) e aroma floral/cítrico do lúpulo (Badillo González, 2014).

Considerações Econômicas e Ambientais

O soro de leite, por ser um subproduto da fabricação de queijo, possui um baixo custo de matéria-prima, o que o torna economicamente atrativo para sua reutilização em processos fermentativos (Siqueira, 2013). Além disso, a incorporação do soro na produção de bebidas alcoólicas contribui para a mitigação de impactos ambientais associados ao seu descarte inadequado. Ao transformar um resíduo potencialmente poluente em um insumo de valor agregado, essa abordagem promove a sustentabilidade na indústria de laticínios, ampliando as possibilidades de mercado para derivados do soro – que já é processado em diversas formas, como concentrados de proteína (WPC) e produtos desmineralizados (EDairy News Brasil, 2024).

Desafios e Perspectivas

Apesar dos avanços, a produção de bebidas alcoólicas a partir de soro de leite ainda enfrenta desafios técnicos, como a padronização do processo fermentativo e a adaptação de legislações específicas. Atualmente, não há uma legislação específica para a bebida alcoólica de soro de leite, o que obriga os pesquisadores a utilizarem como referência os padrões destinados a leites fermentados, a Instrução Normativa nº 46, de 2007 (Reis, 2019).

Contudo, os resultados obtidos até o momento demonstram um grande potencial para o desenvolvimento de novos produtos que, além de inovadores, podem contribuir

para a sustentabilidade e diversificação do mercado de cervejas artesanais, como exemplo pode-se citar a Bodrost®, uma bebida alcoólica semelhante à cerveja feita na Rússia a partir do soro de leite pasteurizado e clarificado com adição de açúcar e passas (Ciência do leite, 2023).

Cervejas com Adição de Frutas

As frutas têm sido empregadas na produção cervejeira desde os primórdios, tanto para agregar aromas e sabores únicos quanto para mascarar defeitos oriundos de fermentações espontâneas. Essa prática evidencia a versatilidade dos adjuntos frutais, que, quando utilizados de forma estratégica, podem aprimorar significativamente a qualidade e a singularidade do produto final.

A incorporação de frutas na produção de cervejas permite a criação de bebidas com perfis sensoriais únicos e atrativos para diferentes públicos. Essa abordagem pode ser observada tanto em receitas clássicas quanto em experimentações contemporâneas, abrangendo desde as tradicionais Lambic, como a Kriek – maturada com cerejas inteiras e marcada por notas intensas de frutas vermelhas, acidez equilibrada e um leve amargor oriundo dos caroços – até formulações modernas, como a Raspberry Stout, que combina a robustez típica de uma stout com a acidez e o frescor das framboesas (Cerveja da casa, 2025).

Impacto dos Adjuntos Frutais nos Parâmetros Físico-Químicos e Sensoriais

Diversos estudos demonstraram que a adição de frutas, seja na forma de cascas, polpas, extratos ou até pseudofrutos, pode provocar alterações nos parâmetros físico-químicos das cervejas, conferindo diversas características que enriquecem o perfil final da cerveja. Entre os principais atributos, destacam-se:

1. **Aromas:** Provenientes de compostos como ésteres, terpenos e fenólicos, que enriquecem o bouquet da cerveja.
2. **Sabor:** Influenciado pelos mesmos compostos aromáticos, que podem adicionar nuances e complexidade, complementando ou suavizando o perfil da bebida.
3. **Cor:** Alterada pela presença de antocianinas e outros polifenóis, que podem modificar a tonalidade do produto.
4. **Dulçor:** Derivado dos carboidratos e ésteres, contribuindo para o equilíbrio entre acidez e amargor.
5. **Corpo:** A presença de carboidratos e proteínas pode melhorar a consistência e a sensação de plenitude da cerveja.
6. **Textura:** Influenciada pela interação de carboidratos, proteínas e taninos, que afetam a cremosidade e a viscosidade.
7. **Espuma:** A formação e estabilidade da espuma dependem da interação entre proteínas (que retêm a espuma) e lipídeos (que podem provocar seu desaparecimento).
8. **Adstringência:** Resultante dos polifenóis, que proporcionam uma sensação tátil única.
9. **Acidez:** Originada do ácido cítrico e outros ácidos naturais, que realçam o perfil refrescante e podem corrigir desequilíbrios sensoriais.
10. **Amargor:** Também influenciado pelos polifenóis, contribuindo para o equilíbrio do sabor.

11. **Turbidez:** Componentes como polifenóis, fibras e pectinas podem afetar a claridade da cerveja, o que pode comprometer tanto a estética quanto a percepção de qualidade da bebida.

Inovações e Aplicações de Frutas Tropicais na Cervejaria

O movimento das cervejas artesanais no Brasil impulsionou o uso de ingredientes regionais, dando origem a estilos que refletem a biodiversidade local. Um exemplo é a Catharina Sour, desenvolvida em Santa Catarina, com inspiração no Berliner Weisse. Combina a acidez produzida por lactobacilos com a adição de frutas frescas, tornando-a uma cerveja equilibrada, com baixo amargor, corpo leve, o teor moderado de álcool e uma carbonatação moderadamente alta (Layra da Silva, 2021).

Incentivada por associações como a ABRACERVA (Associação Brasileira de Cerveja Artesanal), e idealizadores como Fernando Lapolli, a Catharina Sour foi oficialmente reconhecida em concursos nacionais a partir de 2018, consolidando sua identidade como um estilo brasileiro no catálogo BJCP (Beer Judge Certification Program). A propriedade fundamental da Catharina Sour não ser caracterizada como uma Fruit Beer, uma cerveja de trigo, em especial é a adição de frutas frescas e, de preferência, tropicais, contribuindo a um aroma e sabor forte da fruta adicionada (BJCP, 2018).

Os estudos relacionados à Catharina Sour demonstram resultados promissores:

- **Utilização de Kombucha e Abacaxi:** Em uma investigação, a fermentação foi acompanhada por parâmetros como pH, acidez total, sólidos solúveis e teor alcoólico, demonstrando que o uso de SCOBY (kombucha) pode favorecer a acidificação controlada do mosto e potencialmente conferir propriedades probióticas à cerveja (Fernandes e Mércia Melo de Almeida Mota, 2023).
- **Adição de frutas vermelhas com *Lactobacillus plantarum*:** Outra pesquisa desenvolveu uma Catharina Sour utilizando malte Pilsen, malte de trigo, lúpulo Magnum, levedura US-05, *Lactobacillus plantarum* e polpa de frutas vermelhas. Obtendo resultados físico-químicos em conformidade parcial com os parâmetros do Beer Judge Certification Program (BJCP). A cerveja atingiu o equilíbrio entre acidez e dulçor, além de intensos aromas frutados, recebendo pontuações favoráveis em avaliações sensoriais (Silva *et al.*, 2022).
- **Formulação com 10% de polpa de Araçá-boi (*Eugenia Stipitata Mcvaugh*):** Ressaltou o potencial das frutas regionais. A formulação atendeu aos padrões estabelecidos pelo BJCP, apresentando características sensoriais marcantes do Araçá-boi, leves notas de laranja e floral, acidez característica da fermentação láctea e leve nota cítrica ao final do gole, amargor médio-baixo, dulçor baixo, corpo baixo, teor alcoólico comum, carbonatação média (Sales e Souza, 2021).

Além da Catharina Sour, estudos com outras frutas também têm explorado diferentes perfis de cerveja:

- **Cerveja com Umbu-Cajá (*Spondias bahiensis*) e Canela:** Um estudo analisou a vida-de-prateleira de uma formulação do estilo American Pale Ale, que incorporou frutos de umbu-cajá e canela, evidenciando variações no pH e na densidade durante 60 dias de armazenamento, mas manteve-se dentro dos limites legais, demonstrando potencial comercial e agregando valor ao fruto regional (Valentim *et al.*, 2021).
- **Produção de Cerveja com Polpa de Umbu Desidratada (*Spondias tuberosa*):** Foram testadas diferentes concentrações do fruto, observando que o aumento na

quantidade de umbu elevou significativamente o pH ($p < 0,05$) e influenciou os valores de °Brix e teor alcoólico, enquanto os parâmetros de ATT e coloração não sofreram alterações. Os resultados indicam que o uso do umbu desidratado na maturação da cerveja é viável do ponto de vista físico-químico, apresentando potencial para agregar valor ao produto e gerar renda para a população sertaneja (Moreira, 2022).

- **Fruit Wheat Beer com Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) e pitaia-rosa (*Hylocereus costaricensis*):** Essa pesquisa destacou que o cupuaçu contribuiu para o aroma, acidez e amargor baixo. Enquanto a pitaia conferiu uma coloração rosa intensa, resultando em uma cerveja visualmente diferenciada e sensorialmente marcante. Os frutos se mostraram favoráveis à produção de cerveja (Ipiranga *et al.*, 2022).
- **Cerveja artesanal tipo India Pale Ale (IPA) com Umbu-Cajá:** Os resultados indicaram que o extrato real, o amargor e o pH se alinharam com os padrões do estilo, enquanto o teor alcoólico apresentou valores elevados – justificados pela característica agri-doce do fruto e pela atividade das leveduras durante a fermentação – e a densidade ficou abaixo do esperado, mas dentro de limites aceitáveis. Além disso, a cor da cerveja se manteve mais escura que o padrão, possivelmente devido aos insumos utilizados (Viena, 2022).
- **Cerveja de Maracujá:** Avaliou-se a adição de diferentes teores de polpa de maracujá (0, 2,5, 5 e 10%). Os resultados revelaram que as cervejas com menor porcentagem de polpa apresentaram pH, acidez e açúcares mais elevados, sugerindo que a fruta interfere no metabolismo da levedura. A avaliação sensorial apontou que a formulação com 5% de polpa foi a mais preferida, embora a intenção de compra tenha sido mediana para todas as amostras (SILVA *et al.*, 2023).
- **Incorporação de Tamarindo (*Tamarindus indica* L.):** A adição de polpa de tamarindo (15g/L) foi avaliada em diferentes concentrações (20, 40 e 60 g/L) e etapas do processo (fermentação versus maturação). Sendo realizadas análises físico-químicas; compostos fenólicos, açúcares e ácidos orgânicos por HPLC, FTIR; análises microbiológicas voláteis por HS-SPME-GC-MS e análise sensorial. Os resultados indicaram que a maturação com 20 g/L proporcionou um perfil refrescante, frutado e cítrico, enquanto concentrações mais elevadas resultaram em acidez excessiva e avaliações sensoriais negativas (Silva, 2020).
- **Cerveja de trigo adicionada de pseudofruto do Caju (*Anacardium occidentale*, L.) e casca de laranja (*Citrus sinensis*):** A pesquisa teve como resultado cervejas com características de alta acidez, teor alcoólico de 5,23%, e sabor frutado. A adição do caju contribuiu para aumento da acidez, redução do pH e maior teor alcoólico. Embora sensorialmente as cervejas tenham sido bem recebidas, a adição das frutas não proporcionou atributos que as diferenciassem significativamente da amostra controle. A intenção de compra apresentou uma aceitação mediana, mostrando viabilidade mercadológica, apesar da falta de diferenciação clara.
- **Cerveja Summer Ale adicionada de polpa de Pitanga (*Eugenia uniflora*):** Os resultados mostraram uma cerveja com características semelhantes às da literatura para cervejas com adição de frutas, com pH adequado e diminuição da turbidez devido aos processos de clarificação e filtração. Apesar de um bom controle físico-químico, a aceitação sensorial ainda precisa ser analisada em estudos futuros para avaliar a aceitação do público.

Considerações Técnicas e Processos Adicionais

A complexidade na produção de cervejas com adição de frutas exige cuidados específicos quanto à forma de incorporação do ingrediente. Os estudos destacam que:

- **Forma da Fruta:** Frutas frescas, congeladas, em polpa, desidratadas ou em pó podem ser utilizadas, cada uma apresentando vantagens e desafios quanto à extração dos compostos aromáticos e à manutenção das características originais do fruto. A utilização de polpa pode diminuir o ABV (Alcohol by Volume, ou seja, álcool por volume), pois contém grande quantidade de água. Já a fruta in natura exige atenção ao nível de oxidação, sendo preferível que não esteja muito alto. O congelamento, por sua vez, rompe as paredes celulares da fruta, facilitando a extração dos compostos no momento da produção da cerveja. Para esse processo, recomenda-se o uso de freezer, que atinge temperaturas mais baixas do que um congelador comum, ajudando a eliminar microrganismos indesejáveis. Frutas frescas precisam estar totalmente íntegras.
- **Uso de Enzimas:** A aplicação de enzimas como beta-glucanases, xilanases, alfa-amilases e pectinases têm se mostrado eficaz para reduzir a viscosidade, controlar a turbidez e melhorar a estabilidade da bebida, atuando na degradação dos carboidratos estruturais e pectinas presentes nas frutas.
- **Momento da Adição:** A fase de incorporação da fruta – se durante a fervura, fermentação ou maturação – influencia o perfil final do produto. A adição pós-fermentativa, por exemplo, tende a preservar melhor os aromas e sabores naturais. Enquanto a inclusão durante a fermentação pode eliminar algum microrganismo remanescente (pela atividade da levedura), e ainda, se adicionada ao final da fermentação, não corre o risco de o CO₂ volatilizar os compostos (aroma e sabor) interessantes para a cerveja.

DISCUSSÃO

A revisão da literatura evidencia que a produção de cervejas artesanais com adição de frutas e subprodutos lácteos representa uma abordagem inovadora, sustentável e economicamente viável. Diante do contexto analisado e considerando as peculiaridades regionais, opta-se pelo desenvolvimento de uma Catharina Sour. Um estilo criado no Brasil, caracterizado pela acidez equilibrada e pela adição de frutas, conferindo-lhe um perfil sensorial diferenciado e atrativo. A incorporação de frutas nativas, reforçará a identidade brasileira do produto e contribuirá para o aproveitamento de insumos regionais, promovendo a valorização da biodiversidade local.

O uso do soro de leite na formulação da cerveja considera seu potencial como fonte nutricional e sua relevância para a redução do desperdício na indústria láctea. Estudos demonstram que o soro de leite pode agregar nutrientes, como proteínas e sais minerais, além de contribuir para modificações na textura e estabilidade do produto final. Contudo, a sua adição requer um controle rigoroso dos processos fermentativos para garantir a estabilidade microbiológica e sensorial da bebida.

A escolha das frutas foi baseada tanto no seu potencial aromático e sabor característico quanto na sua disponibilidade e relevância cultural. A acerola é conhecida pelo seu elevado teor de vitamina C e notas ácidas marcantes; o maracujá-da-caatinga confere um perfil sensorial exótico; e o umbu, fruto típico do bioma Caatinga, destaca-se pelo seu sabor agri-doce. Esses aspectos contribuem para a criação de um produto inovador.

Entretanto, desafios técnicos como o controle da acidez, a estabilidade do perfil sensorial e a manutenção da claridade do produto precisam ser considerados. A integração de processos de clarificação e a definição precisa do momento de adição das frutas são aspectos fundamentais para garantir que os aromas e sabores sejam destacados sem comprometer os parâmetros físico-químicos exigidos pelos padrões do estilo.

CONCLUSÃO

A análise dos estudos permitiu embasar a escolha da produção de uma Catharina Sour com adição de frutas regionais, como a acerola, maracujá-da-caatinga e o umbu, e incorporação de soro de leite. Essa abordagem visa não apenas desenvolver um produto inovador, mas também fortalecer a identidade brasileira no segmento de cervejas artesanais. A utilização de ingredientes regionais valoriza os recursos naturais do Nordeste.

Ademais, a utilização do soro de leite na elaboração da cerveja se alinha com os princípios de sustentabilidade e aproveitamento integral de subprodutos da indústria láctea. No entanto, a implementação dessa matéria-prima requer estudos adicionais para otimizar sua integração ao processo fermentativo, garantindo estabilidade e qualidade sensorial ao produto final.

Portanto, essa estratégia não só amplia as possibilidades de inovação no portfólio de cervejas artesanais, mas também reforça a valorização dos recursos locais, contribuindo para o fortalecimento da cultura cervejeira nacional e para o desenvolvimento sustentável do setor. Em síntese, a produção experimental de uma Catharina Sour com alguma das frutas mencionadas (acerola, maracujá-da-caatinga e umbu) representa uma contribuição relevante para a pesquisa na área de bebidas fermentadas, abrindo caminhos para novas formulações que explorem o uso de ingredientes regionais e aprimoramentos tecnológicos. Ainda, apresenta-se como uma alternativa promissora para atender às demandas de um público que busca inovações sensoriais e produtos com forte vínculo cultural, abrindo caminho para futuras pesquisas e aprimoramentos tecnológicos.

REFERÊNCIAS

- Badillo González, Sayra Itzel. *Elaboración de una cerveza artesanal “Ale” tipo “Stout” con suero de leche como sustrato y granos de kéfir como sustituto de levadura*. 2014. *repositorioinstitucional.buap.mx*, <https://hdl.handle.net/20.500.12371/6824>.
“O soro de leite como base na formulação de bebidas”. *Ciência do Leite*, 14 de maio de 2023, <https://cienciadoleite.com.br/noticia/5905/o-soro-de-leite-como-base-na-formulacao-de-bebidas>. Acesso em 15 de fevereiro de 2025.
- Do Soro De Leite à Cerveja: Uma Fusão Inesperada - EDairy News Brasil*. 2 de agosto de 2024, <https://br.edairynews.com/do-soro-de-leite-a-cerveja/>. Acesso em 15 de fevereiro de 2025.

Domingues, Evelise. “Por Trás da Sour: O Papel do Ácido Lático na Fabricação da Cerveja”. *Kasvi*, 4 de agosto de 2023, <https://kasvi.com.br/por-tras-da-sour/>. Acesso em 15 de fevereiro de 2025.

Portal A|I - As múltiplas aplicações do ácido láctico.

<https://aditivosingredientes.com/artigos/052023-artigos-editoriais/082022-as-multiplas-aplicacoes-do-acido-lactico>. Acesso em 16 de fevereiro de 2025.

Reis, Rangel Zagheti dos. *Desenvolvimento e caracterização de bebida alcoólica fermentada a base de soro de leite*. 2019. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, bachelorThesis. repositorio.utfpr.edu.br, <http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/handle/1/13269>.

Adição de Frutas e Adjuntos na Cerveja | Cerveja da Casa.

https://www.cervejadacasa.com/noticias/adicao-de-frutas-e-adjuntos-na-serveja?srsId=AfmBOoojJCQF7Z5iGl5aFqHpj9Wp0Nd_azKOD_LmmL0JTwngczfxv-Ef. Acesso em 16 de fevereiro de 2025.

Silva, Layra Lobato da. *Cerveja especial: Catharina Sour e Fruit beer*. 2021. Instituto Federal do Espírito Santo, bachelorThesis. https://repositorio.ifes.edu.br/bitstream/handle/123456789/1071/TCC_Cerveja_Especial_Catharina_Sour.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Fernandes, José Lázaro da Silva, e Mércia Melo de Almeida Mota.

“DESENVOLVIMENTO DE CERVEJA ARTESANAL ESTILO CATHARINA SOUR UTILIZANDO KOMBUCHA E POLPA DE ABACAXI”. *Anais do Congresso de Iniciação Científica, Desenvolvimento Tecnológico e Inovação da Universidade Federal de Campina Grande*, vol. 20, nº 1, 1, 2023. revistas.editora.ufcg.edu.br, <https://revistas.editora.ufcg.edu.br/index.php/cicufcg/article/view/5705>.

Ipiranga, Aline Carolina de Souza, *et al.* “Produção de cerveja artesanal estilo Fruit Wheat Beer adicionada com cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) e pitaiá-rosa (*Hylocereus costaricensis*)”. *Brazilian Journal of Science*, vol. 1, nº 3, 3, março de 2022, p. 16–22. periodicos.cerradopub.com.br, <https://doi.org/10.14295/bjs.v1i3.33>.

Lima, Bianca de, *et al.* “Caracterização físico-química de cerveja Summer Ale adicionada de polpa de pitanga (*Eugenia uniflora*) / Physico-chemical characterization of Summer Ale beer added with pitanga pulp (*Eugenia uniflora*)”. *Brazilian Journal of Development*, vol. 7, nº 3, março de 2021, p. 25337–43. ojs.brazilianjournals.com.br, <https://doi.org/10.34117/bjdv7n3-303>.

Menezes, Natália Viviane Santos de. *Avaliação sensorial e caracterização de cerveja de trigo adicionada de pseudofruto do caju (*Anacardium occidentale*, L.) e casca de laranja (*Citrus sinensis*)*. 2019. repositorio.ufc.br, <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/39653>.

Moreira, Werly Felix. *Produção de cerveja artesanal elaborada com polpa de umbu (*Spondias tuberosa*) desidratada*. 2022. ri.ufs.br, <https://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/17368>.

Freire, Kristerson Reinaldo de Luna. Cervejas com frutas e combinações. Apresentação. https://acervabrasil.com.br/wp-content/uploads/2020/04/Cerveja_fruta_Kristerson_Acervabrasil.pdf.

Sales, Lucas da Silva, e Patrick Gomes de Souza. “Produção de cerveja do estilo Catharina Sour com Araçá-Boi (*Eugenia Stipitata Mcvaugh*) / Catharina Sour beer production with Araçá-Boi (*Eugenia Stipitata Mcvaugh*)”. *Brazilian Journal of Development*, vol. 7, nº 1, janeiro de 2021, p. 1599–613. [ojs.brazilianjournals.com.br](https://ojs.brazilianjournals.com.br/https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-109), <https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-109>.

Silva, Augusto de Souza da. *Produção e avaliação de cerveja artesanal contendo tamarindo (Tamarindus indica L)*. fevereiro de 2020. [ri.ufs.br](https://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/16161), <https://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/16161>.

SILVA, Najara Sousa da, *et al.* PRODUÇÃO DE CERVEJA DE MARACUJÁ: ESTUDO MICROBIOLÓGICO, FÍSICO-QUÍMICO E SENSORIAL. Galoá, <https://proceedings.science/slacan-2023/trabalhos/producao-de-cerveja-de-maracuja-estudo-microbiologico-fisico-quimico-e-sensorial?lang=pt-br>. Acesso em 16 de fevereiro de 2025.

Silva, Vicente Damo Martins da, *et al.* “Desenvolvimento de cerveja estilo Catharina Sour de frutas vermelhas utilizando *Lactobacillus plantarum*”. *Research, Society and Development*, vol. 11, nº 9, 9, julho de 2022, p. e59111932009–e59111932009. [rsdjournal.org](https://rsdjournal.org/https://doi.org/10.33448/rsd-v11i9.32009), <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i9.32009>.

Valentim, Sarah dos Santos, *et al.* “Elaboração e avaliação da estabilidade de cerveja artesanal utilizando o umbu-cajá (*Spondias bahiensis*) e canela na maturação”. *Diversitas Journal*, vol. 6, nº 1, 1, janeiro de 2021, p. 114–36. [www.diversitasjournal.com.br](http://www.diversitasjournal.com.br/https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v6i1-1443), <https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v6i1-1443>.

Viena, Tairony Queiroz. *Produção de cerveja artesanal tipo india pale ale com Umbu-Cajá: fruto típico da região do nordeste brasileiro*. 2022. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, bachelorThesis. [repositorio.utfpr.edu.br](https://repositorio.utfpr.edu.br/https://repositorio.utfpr.edu.br/8080/jspui/handle/1/29685), <https://repositorio.utfpr.edu.br/8080/jspui/handle/1/29685>.

“CATHARINA SOUR : O primeiro estilo de cerveja brasileiro”. *Cerveja e Malte*, 28 de setembro de 2021, <https://cervejaemalte.com.br/blog/catharina-sour-o-primeiro-estilo-de-cerveja-brasileiro/>. Acesso em 16 de fevereiro de 2025.

