

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo deste documento será disponibilizado somente a partir de 01/12/2027.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA 'JÚLIO DE MESQUITA FILHO' INSTITUTO
DE BIOCIÊNCIAS DE BOTUCATU
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA E BIOQUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA

HIDRODESTILAÇÃO E FERMENTAÇÃO: TÉCNICAS PARA O APROVEITAMENTO
INTEGRAL DE RESÍDUOS VEGETAIS E OBTENÇÃO DE BIOMOLÉCULAS

MILENE VITÓRIA LOPES MARCOLINO

ORIENTADORA: PROF^a DR^a LUCIANA FRANCISCO FLEURI

COORIENTADOR: PROF^o DR^o MARCELO TELASCREA

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências, Campus
de Botucatu, Unesp, para obtenção do título de Mestre no
Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia.

Botucatu

2025

MILENE VITÓRIA LOPES MARCOLINO

**HIDRODESTILAÇÃO E FERMENTAÇÃO: TÉCNICAS PARA O
APROVEITAMENTO INTEGRAL DE RESÍDUOS VEGETAIS E OBTENÇÃO DE
BIOMOLÉCULAS**

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências, Campus
de Botucatu, Unesp, para obtenção do título de Mestre no
Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia.

Botucatu

2025

M321h	Marcolino, Milene Hidrodestilação e Fermentação : técnicas para o aproveitamento integral de resíduos vegetais e obtenção de biomoléculas / Milene Marcolino. -- Botucatu, 2025 91 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Botucatu Orientadora: Luciana Francisco Fleuri Coorientadora: Marcelo Telascreea 1. Atividade antioxidante. 2. <i>Aspergillus niger</i>. 3. CG-MS. 4. Compostos bioativos. 5. Hidrolatos. I. Título.
-------	--

Impacto potencial desta pesquisa

Título da dissertação: Hidrodestilação e Fermentação: técnicas para o aproveitamento integral de resíduos vegetais e obtenção de biomoléculas.

Impacto econômico e social: A pesquisa apresenta um impacto biotecnológico e social ao propor o aproveitamento de resíduos de laranja, limão, avocado e jaca, por meio de processos sustentáveis de hidrodestilação e Fermentação em Estado Sólido (FES). Esses resíduos de frutas, tradicionalmente descartados pela agroindústria, revelaram potencial como fontes de compostos bioativos de interesse nas áreas alimentícia, cosmética e farmacêutica.

Ao demonstrar que o hidrolato, frequentemente considerado um subproduto sem valor comercial e resultante do processo de hidrodestilação, pode conter compostos de alto valor agregado, o estudo contribui para a valorização de resíduos e redução do desperdício de matéria-prima vegetal, promovendo a economia circular e a sustentabilidade ambiental associada a processos científicos tecnológicos.

Potential Impact of this Research

Dissertation title: Hydrodistillation and Fermentation: techniques for the integral utilization of plant residues and the production of biomolecules.

Economic and social impact: The research presents biotechnological and social impact by proposing the valorization of orange, lemon, avocado, and jackfruit residues through sustainable processes of hydrodistillation and Solid-State Fermentation (SSF). These fruit residues, traditionally discarded by the agroindustry, demonstrated potential as sources of bioactive compounds of interest to the food, cosmetic, and pharmaceutical sectors.

By demonstrating that the hydrolate, often considered a byproduct with no commercial value and generated during the hydrodistillation process, may contain compounds with high added value, this study contributes to waste valorization and the reduction of plant raw material losses, promoting the principles of circular economy and environmental sustainability associated with scientific and technological processes.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE MILENE VITÓRIA LOPES MARCOLINO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA, DO INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS - CÂMPUS DE BOTUCATU.

Aos 01 de dezembro de 2025, às 14h, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de MILENE VITÓRIA LOPES MARCOLINO, intitulada **Hidrodestilação e Fermentação: técnicas para o aproveitamento integral de resíduos vegetais e obtenção de biomoléculas**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. VALBER DE ALBUQUERQUE PEDROSA (Participação Virtual) do(a) Pró-reitoria de Pós-graduação / UNESP / Reitoria - RUNESP, Professora Doutora MILENE STEFANI PEREIRA-VASQUES (Participação Virtual) do(a) Bioquímica / Faculdade Eduvale Avaré, Pesquisadora Dr.^a ROSELAINE FACANALI (Participação Virtual) do(a) Pós-Doutoranda - Química Analítica / Instituto Agrônomo de Campinas, Após a exposição pela mestranda e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.


Prof. Dr. VALBER DE ALBUQUERQUE PEDROSA

Dedicatória

À Deus por me sustentar em cada etapa. Ao meu marido, Pedro, por ser meu porto seguro e me apoiar nessa jornada.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente à Deus, por me conceder sabedoria, força e saúde para chegar até aqui.

Ao meu marido, **Pedro Lamera Fraga**, por sua paciência, cuidado, incentivo e por estar ao meu lado nos dias mais difíceis, lembrando-me do meu propósito e da minha capacidade. Você é tudo para mim. Te amo!

À minha orientadora, **Profª Dra. Luciana Francisco Fleuri**, que tem minha admiração. Lu, obrigada pela confiança, dedicação e pelas contribuições que foram essenciais para a realização deste trabalho. Guardarei para sempre, com gratidão, a oportunidade que marcou o início da minha trajetória na docência. Se um dia eu refletir ao menos uma pequena parte da grandeza que vejo em você, já me sentirei extremamente realizada.

Ao meu coorientador, **Profº Dr. Marcelo Telascrea**. Professor, sua experiência e orientação foram essenciais para o desenvolvimento da pesquisa, especialmente no processo de hidrodestilação e análises de composição química dos óleos essenciais e hidrolatos. Sou grata pelo apoio, pelas explicações generosas e pela disponibilidade em compartilhar conhecimento ao longo de toda a jornada.

Aos meus familiares, meus pais **Loreci Oliveira Lopes Marcolino** e **Sebastião Ozenir Marcolino**, meus irmãos **Izabel**, **Eliane**, **Regiane** e **André** e meus sobrinhos pelas orações diárias, amor e compreensão em todos os momentos desta jornada acadêmica. Eu amo vocês!

Ao meu avô, **Waldemar Aparecido Fraga**, que já não está aqui, mas cuja presença permanece viva nas minhas lembranças. Ele acompanhava meu percurso com orgulho e ternura, sempre me encorajando a continuar. Saber que ele se alegrava ao me ver fazendo ciência é algo que levarei comigo para sempre.

Aos colegas do laboratório, **Daniel**, **Gabriela**, **Julia**, **Laís**, **Maria Júlia**, **Milene** (minha xará), **Paola** e **Pedro**, pela parceria, troca de conhecimentos e apoio mútuo.

À UNESP pela estrutura e aos demais professores que, direta ou indiretamente, contribuíram para a minha formação e para o desenvolvimento deste estudo.

À todos que, de alguma forma, participaram desta trajetória, deixo aqui minha sincera gratidão.

RESUMO

As frutas são uma fonte abundante de compostos bioativos e constituem uma parte importante dos produtos hortícolas. Os resíduos gerados durante o processamento das frutas, que contêm diversos compostos bioativos, são frequentemente descartados. Entre os principais subprodutos pós-processamento das indústrias de frutas estão a casca, o bagaço e as sementes. Este estudo investigou a obtenção e caracterizou hidrolatos a partir de resíduos de laranja (casca e frit), limão siciliano (frit), avocado (semente e casca) e da jaca (miolo e casca), visando avaliar seu potencial antioxidante e composição (bio)química, bem como verificar os efeitos da fermentação em estado sólido (FES) com *Aspergillus niger* nos hidrolatos resultantes. As análises dos hidrolatos realizadas por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas e ensaios antioxidantes demonstraram que os resíduos apresentam compostos bioativos relevantes, com variação significativa entre as diferentes matrizes. O hidrolato do frit de limão se destacou nas atividades antioxidantes avaliadas por DPPH e FRAP, apresentando os maiores valores de inibição de radicais livres (61,2 $\mu\text{mol/mL}$ de trolox equivalente e 1193,9 $\mu\text{mol Fe(II)/L}$, respectivamente). Quanto à análise de fenóis totais, o hidrolato do frit de laranja fermentada apresentou maior teor de compostos fenólicos com valor de 16,2 $\mu\text{g EAG/mL}$. Os hidrolatos isolados e fermentados apresentaram atividade antioxidante via FRAP em média 1062,1 e 866,7 $\mu\text{mol Fe(II)/mL}$, respectivamente, e 12,7 e 54,4 $\mu\text{mol/mL}$ de trolox equivalente no DPPH, respectivamente. A fermentação promoveu modificações no perfil químico dos hidrolatos, como no caso do hidrolato de semente de avocado que antes da fermentação apresentou como compostos majoritários o linalol e α -terpineol e após a fermentação os compostos 1-octen-3-ol e 1-fenil-2-propanona. Em alguns casos, a FES potencializou a atividade antioxidante, especialmente em resíduos cítricos como o hidrolato do frit de limão. Os resultados confirmam o potencial da associação entre hidrodestilação e fermentação em estado sólido como uma abordagem eficiente para a valorização de resíduos de frutas, favorecendo a sustentabilidade no contexto da bioeconomia circular e a possibilidade de aplicação dos hidrolatos em indústrias alimentícias, de cosméticos e fármacos.

Palavras-chave: atividade antioxidante; *Aspergillus niger*; CG-MS; compostos bioativos; hidrodestilação; hidrolatos.

ABSTRACT

Fruits are an abundant source of bioactive compounds and constitute an important part of horticultural products. The residues generated during fruit processing, which contain several bioactive compounds, are frequently discarded. Among the main post-processing byproducts of the fruit industries are peels, pomace, and seeds. This study investigated the production and characterized hydrolates obtained from residues of orange (peel and pomace), Sicilian lemon (pomace), avocado (seed and peel), and jackfruit (core and peel), aiming to evaluate their antioxidant potential and (bio)chemical composition, as well as to verify the effects of solid-state fermentation (SSF) with *Aspergillus niger* on the resulting hydrolates. Analyses of the hydrolates performed by gas chromatography coupled with mass spectrometry and antioxidant assays demonstrated that the residues present relevant bioactive compounds, with significant variation among the different matrices. The lemon pomace hydrolate stood out in antioxidant activities evaluated by DPPH and FRAP, presenting the highest free radical inhibition values (61.2 $\mu\text{mol/mL}$ trolox equivalent and 1193.9 $\mu\text{mol Fe(II)/L}$, respectively). Regarding total phenolic analysis, the fermented orange pomace hydrolate presented the highest content of phenolic compounds, with a value of 16.2 $\mu\text{g GAE/mL}$. The isolated and fermented hydrolates presented antioxidant activity via FRAP averaging 1062.1 and 866.7 $\mu\text{mol Fe(II)/mL}$, respectively, and 12.7 and 54.4 $\mu\text{mol/mL}$ trolox equivalent in the DPPH assay, respectively. Fermentation promoted changes in the chemical profile of the hydrolates, as observed in the avocado seed hydrolate, which before fermentation presented linalool and α -terpineol as major compounds, and after fermentation presented 1-octen-3-ol and 1-phenyl-2-propanone. In some cases, SSF enhanced antioxidant activity, especially in citrus residues such as the lemon pomace hydrolate. The results confirm the potential of the association between hydrodistillation and solid-state fermentation as an efficient approach for fruit residue valorization, favoring sustainability within the context of circular bioeconomy and the possibility of applying hydrolates in the food, cosmetic, and pharmaceutical industries.

Keywords: antioxidant activity; *Aspergillus niger*; CG-MS; bioactive compounds; hydrodistillation; hydrolates.

Lista de Figuras

Figura 1. Resíduos de laranja, limão, avocado e jaca utilizados no trabalho para obtenção dos hidrolatos, sendo o frit de laranja e limão correspondente à camada mais externa da casca ...	18
Figura 2. Panorama geral do desperdício alimentar no Brasil.....	19
Figura 3. Pontuações médias do projeto atualmente e projeções para os anos de 2027 e 2030 (A), referentes a ODS 1 (Erradicação da Pobreza), ao qual apresentou maior pontuação média. Desempenho atual do projeto em relação ao ODS (B), para o ano de 2027 (C) e para 2030 (D)	20
Figura 4. Fluxograma representando as etapas do processamento de laranja, limão, avocado e jaca e geração de resíduos	24
Figura 5. Processo de tratamento dos resíduos e hidrodestilação para obtenção de hidrolato e óleo essencial.....	34
Figura 6. Preparo do inóculo de <i>Aspergillus niger</i> 01 e do processo de fermentação em estado sólido (FES).....	35
Figura 7. Atividade antioxidante por DPPH de hidrolatos dos resíduos de laranja e limão, isolados (I) e fermentados (F).....	39
Figura 8. Análise antioxidante por DPPH de hidrolatos dos resíduos de jaca (A) e avocado (B), isolados (I) e fermentados (F).....	42
Figura 9. Atividade antioxidante por FRAP de hidrolatos dos resíduos de laranja e limão, isolados (I) e fermentados (F).....	44
Figura 10. Atividade antioxidante de hidrolatos por FRAP dos resíduos de jaca (A) e avocado (B), isolados (I) e fermentados (F)	47
Figura 11. Teor de fenóis totais dos hidrolatos dos resíduos de laranja e limão, isolados (I) e fermentados (F)	49
Figura 12. Teor de fenóis totais dos hidrolatos dos resíduos de jaca (A) e avocado (B), isolados (I) e fermentados (F).....	51
Figura 13. Cromatograma TIC do óleo essencial de casca de laranja isolada CO(I) (A e B), frit de laranja isolado FO(I) (C e D) e frit de limão isolado FL(I) (E e F)	55
Figura 14. Cromatograma TIC do hidrolato de casca de laranja isolada CO(I) (A e B), frit de laranja isolado FO(I) (C e D) e frit de limão isolado FL(I) (E e F).....	57
Figura 15. Cromatograma TIC do hidrolato de miolo de jaca isolado MJ(I) (A e B) e casca de jaca isolada CJ(I) (C e D)	60
Figura 16. Cromatograma TIC do hidrolato de semente de avocado isolada SA(I) (A e B) e casca de avocado isolada CA(I) (C e D).....	61
Figura 17. Cromatograma TIC do hidrolato de casca de laranja fermentada CO(F) (A e B), frit de laranja fermentado FO(F) (C e D) e frit de limão fermentado FL(F) (E e F).....	67
Figura 18. Cromatograma TIC do hidrolato de miolo de jaca fermentado MJ(F) (A e B) e casca de jaca fermentada CJ(F) (C e D).....	74
Figura 19. Cromatograma TIC do hidrolato de semente de avocado fermentado SA(F) (A e B) e casca de avocado fermentada CA(F) (C e D)	78

Lista de Tabelas

Tabela 1. Atividade antioxidante por DPPH dos hidrolatos dos resíduos cítricos (laranja e limão) isolados (I) e fermentados (F)	39
Tabela 2. Atividade antioxidante por DPPH dos hidrolatos dos resíduos de jaca e avocado isolados (I) e fermentados (F).....	41
Tabela 3. Atividade antioxidante dos hidrolatos por FRAP dos resíduos cítricos isolados (I) e fermentados (F)	45
Tabela 4. Atividade antioxidante dos hidrolatos por FRAP dos resíduos de jaca e avocado isolados (I) e fermentados (F).....	46
Tabela 5. Determinação de fenóis totais de hidrolatos dos resíduos cítricos isolados (I) e fermentados (F)	49
Tabela 6. Determinação de fenóis totais de hidrolatos dos resíduos de jaca e avocado isolados (I) e fermentados (F).....	50
Tabela 7. Composição química do óleo essencial de casca de laranja (CO) (A), frit de laranja (FO) (B) e frit de limão (FL) (C), expressa em média e desvio padrão	53
Tabela 8. Composição química dos hidrolatos de casca de laranja isolada CO(I) (A) e casca de laranja fermentada CO(F) (B), expressa em média e desvio padrão	63
Tabela 9. Composição química dos hidrolatos de frit de laranja isolado FO(I) (A) e frit de laranja fermentado FO(F) (B), expressa em média e desvio padrão	65
Tabela 10. Composição química dos hidrolatos de frit de limão isolado FL(I) (A) e frit de limão fermentado FL(F) (B), expressa em média e desvio padrão.....	69
Tabela 11. Composição química dos hidrolatos do miolo de jaca isolado MJ(I) (A) e miolo de jaca fermentado MJ(F) (B), expressa em média e desvio padrão.....	71
Tabela 12. Composição química dos hidrolatos de casca de jaca isolada CJ(I) (A) e casca de jaca fermentada CJ(F) (B), expressa em média e desvio padrão.....	72
Tabela 13. Composição química dos hidrolatos da semente de avocado isolada SA(I) (A) e semente de avocado fermentada SA(F) (B), expressa em média e desvio padrão	75
Tabela 14. Composição química dos hidrolatos da casca de avocado isolada CA(I) (A) e casca de avocado fermentada CA(F) (B), expressa em média e desvio padrão.....	79

Sumário

RESUMO	9
ABSTRACT	10
1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo Geral	17
2.2 Objetivos Específicos	17
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1 Resíduos	17
3.2 Frutas cítricas - laranja e limão	22
3.3 Avocado Hass	24
3.4 Jaca	26
3.5 Fermentação em estado sólido (FES)	27
3.6 Compostos bioativos	28
3.7 Óleo essencial	29
3.8 Hidrolatos	30
4 MATERIAL E MÉTODOS	34
4.1 Obtenção, preparo da amostra e extração dos hidrolatos	34
4.2 Cultivo e processo fermentativo	34
4.3 Determinação das atividades antioxidantes dos hidrolatos	36
4.3.1 DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil)	36
4.3.2 FRAP (Poder Antioxidante de Redução Férrica)	36
4.4 Determinação de fenóis totais	37
4.5 Análise da composição química dos óleos essenciais e hidrolatos	37
4.6 Análise estatística	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1 Atividade antioxidante por DPPH	38
5.2 Análise antioxidante por FRAP	43
5.3 Determinação de fenóis totais	48
5.4 Análise da Composição Química dos Óleos Essenciais e Hidrolatos Isolados	52
5.4.1 Óleos essenciais	52
5.4.2 Hidrolatos	56
5.5 Análise da Composição Química dos Hidrolatos Fermentados	62
6. CONCLUSÃO	82
7. PERSPECTIVAS FUTURAS	83
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83

1 INTRODUÇÃO

As frutas são fontes abundantes de compostos bioativos e constituem parte importante dos produtos hortícolas. Os resíduos de frutas gerados durante o processamento, que contêm diversos compostos bioativos, são frequentemente descartados. Entre os principais subprodutos pós-processamento das indústrias de frutas estão a casca, o bagaço e as sementes (Ray *et al.*, 2023). De acordo com Ritika *et al.* (2024) resíduos descartados representam grande desafio ambiental, mas devido à composição de bioativos são importantes pelo potencial terapêutico e funcional. Extratos de plantas contendo substâncias bioativas, como óleos essenciais, polifenóis e flavonoides têm sido analisados devido às suas propriedades antimicrobianas e antioxidantes (Acquavia *et al.*, 2023). Dentre diversas matérias-primas vegetais disponíveis, há a laranja, o limão, o avocado e a jaca que podem ser interessantes para extrair esses e outros compostos bioativos.

A laranja (*Citrus sinensis*) é a fruta cítrica mais consumida no mundo, constituindo mais da metade da produção global de citrus. Cerca de 50-60% do peso total de laranja é resíduo orgânico como casca (20 a 30%) e bagaço (5 a 20%) (López-Hernández *et al.*, 2025). Estima-se que sejam gerados anualmente cerca de 16 milhões de toneladas de subprodutos mundialmente (Azevedo *et al.*, 2024).

O limão *Citrus limon* (L.) Burm é a terceira espécie de cítrico mais cultivada no mundo e são fontes de compostos bioativos naturais de grande importância, incluindo ácido ascórbico, óleos essenciais e substâncias antioxidantes. A produção de limão representa uma parcela significativa, cerca de 5% da demanda global por frutas frescas, sendo em grande parte processada pela indústria alimentícia como marmeladas, bebidas, sorvetes, sobremesas e para a extração de óleos essenciais (Di Matteo *et al.*, 2021).

O avocado (*Persea americana* Mill) da variedade Hass é uma fruta consumida em todo o mundo, com produção global estimada em mais de 8,7 milhões de toneladas por ano (Acquavia *et al.*, 2023). O processamento industrial do avocado tem como foco a utilização da sua polpa, de forma que a casca e a semente, que representam entre 21-30% do peso do fruto fresco, são descartadas (Mora-Sandí *et al.*, 2021). Além disso, a semente e a casca possuem componentes fenólicos com potencial para ser utilizado em indústrias alimentícias, cosmética e farmacêutica (Acquavia *et al.*, 2023).

A jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) é uma fruta tropical de regiões com altas temperaturas e umidade (Le; Lee; Chen, 2023) e possui mercado mundial que vem crescendo - estima-se 360 milhões de dólares em valor de mercado global em 2026 referente à produção

dessa fruta (Attenborough *et al.*, 2023). Segundo estudos de Brahma e Ray (2022), entre 70% e 80% dos componentes da jaca são não comestíveis e cerca de 60% deles são constituídos por casca externa, perianto e núcleo central, que geralmente são descartados. A casca de jaca, segundo os autores, é composta por ingredientes funcionais como esteróides, triterpenóides, saponinas, alcalóides, glicosídeos, taninos e compostos fenólicos, flavonóides, proteínas e carboidratos (Brahma; Ray, 2022).

Os resíduos utilizados neste estudo são oriundos de cultivos brasileiros. Apesar da jaca, laranja e do limão terem origem asiática e o avocado seja originário da América Central, essas espécies encontram-se amplamente naturalizadas no Brasil e fazem parte da produção agroindustrial do país (Sidhu, 2012; Langgut, 2017).

A fermentação em estado sólido (FES) é um processo biotecnológico que utiliza microrganismos capazes de se desenvolver em substratos sólidos, como os resíduos vegetais, com baixo teor de umidade, os quais agem como fontes de nutrientes para o crescimento microbiano. Essa técnica tem se destacado como alternativa sustentável e promissora para a valorização de resíduos, permitindo a bioconversão de materiais orgânicos em produtos de maior valor agregado (Yazid *et al.*, 2017).

Os hidrolatos, obtidos como subprodutos da hidrodestilação, são compostos majoritariamente por água de condensação e uma pequena fração de óleo essencial. Por seu baixo custo e maior segurança de manuseio, representam uma alternativa viável aos fungicidas sintéticos, complementando o uso dos óleos essenciais (Pérez-Izquierdo; Serrano-Pérez; Rodríguez-Molina, 2022). Anteriormente, os hidrolatos eram considerados simples resíduos, sem utilidade, no entanto, em função das recentes descobertas de suas propriedades antioxidante e antimicrobiana, para além da ação contra fungos, têm sido considerados valiosos (Pino-Otín *et al.*, 2022). Estudo de Vito *et al.* (2019), por exemplo, comparou diversas aplicações antimicrobianas do óleo essencial e seus hidrolatos da planta *Monarda citriodora* (erva-cidreira) e revelou que os hidrolatos são produtos que possuem atividade antimicrobiana, além de seu ótimo custo-benefício devendo, portanto, ser valorizados. Outro estudo dos autores Shafie *et al.* (2022), analisou a atividade antioxidante de hidrolatos de diferentes plantas, como flor de laranjeira amarga, noz-de-areca, coco e abeto negro. Os resultados indicaram que a atividade antioxidante dos hidrolatos variou conforme a espécie vegetal, sua origem e parte da planta da qual os hidrolatos são extraídos, e está associada à presença de compostos fenólicos, flavonoides, além de terpenoides, como linalol e α -terpineol, que são eficazes na neutralização de radicais livres.

No contexto de bioeconomia circular, muitos esforços são direcionados para reaproveitamento de resíduos de frutas como fonte renovável e moléculas de interesse comercial (Acquavia *et al.*, 2023). Os compostos bioativos obtidos, podem ser aplicados na formulação de alimentos funcionais e como nutracêuticos. Os polifenóis de resíduos de frutas, por exemplo, apresentam propriedades antioxidantes, antibacterianas e anti-inflamatórias. A presença de compostos antimicrobianos em extratos de resíduos de frutas confere-lhes a capacidade de prolongar a vida de prateleira de alimentos. O β -caroteno encontrado em cascas de diversas frutas é precursor da vitamina A, apresenta propriedades antioxidantes, protege contra alguns tipos de câncer, melhora as funções imunológicas e mantém a saúde cardiovascular (Ray *et al.*, 2023).

Além da obtenção dos compostos citados, de frutas cítricas e seus resíduos podem ser obtidos óleos essenciais, os quais enquadram-se como compostos bioativos que possuem características sensoriais valorizadas pela indústria alimentícia e com potencial de aplicação como aditivo natural. Além disso, é amplamente utilizado na indústria de cosméticos, farmacêutica, dentre outras. Já as frutas como jaca e avocado, o foco pode estar relacionado a outros tipos de compostos ou extratos (Cassini, 2010; Gobato, 2015; Hossain *et al.*, 2016; Faiza *et al.*, 2018).

Ademais, a valorização dos resíduos de frutas e transformação em produtos de valor agregado, possui relevância econômica e social, uma vez que promove o seu aproveitamento, reduzindo custos associados ao descarte e gerando novas oportunidades de renda. Do ponto de vista social, contribui para o desenvolvimento sustentável ao incentivar práticas de economia circular, diminuir o impacto ambiental decorrente do acúmulo de resíduos orgânicos e estimular a conscientização sobre o uso racional dos recursos naturais (Taheri; Hosseini, 2025).

A escolha por avaliar as atividades bioativas de hidrolatos obtidos a partir de casca, semente e miolo dessas frutas se justifica não apenas pela abordagem pouco explorada na literatura, que traz originalidade e inovação à pesquisa, mas também pela possibilidade de agregar valor aos resíduos amplamente descartados, promovendo sua inserção em cadeias produtivas sustentáveis. Assim, este estudo buscou contribuir para o avanço do conhecimento na área de aproveitamento integral de alimentos e inovação em ingredientes funcionais, reforçando a abordagem da economia circular e da sustentabilidade no contexto agroalimentar e cosmético.

Diante desse contexto, a presente pesquisa se propôs a determinar a atividade antioxidante de hidrolatos obtidos por hidrodestilação a partir dos resíduos das frutas laranja,

limão, avocado e jaca, bem como avaliar a influência da FES sobre o potencial antioxidante e a composição química desses hidrolatos, contribuindo para o aproveitamento integral dos resíduos vegetais e alinhando-se aos princípios da bioeconomia circular.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDUH, M. Y. *et al.* Effects of solid-state fermentation using *Aspergillus niger* on yield, total phenolic content, and antioxidant activity of defatted rice bran extract. **Food Chemistry Advances**, v. 7, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.focha.2025.100957>.
- ABERE, B. O.; ADETUNJI, C. O. Chapter 21 - Commercially available essential oil with higher relevance in food sector and their detailed information in market trends. **Applications of Essential Oils in the Food Industry**, p. 247-254, 2024.
- ACIMOVIC, M. *et al.* Weather Conditions Influence on Lavandin Essential Oil and Hydrolate Quality. **Horticulturae**, v. 8, ed. 4, p. 281, 2022.

- ACQUAVIA, M. A. *et al.* Incorporation of bioactive compounds from avocado by-products to ethyl cellulose-reinforced paper for food packaging applications. **Food Chemistry**, v. 429, 2023.
- ALIBEKOV, R. S. *et al.* Recovery of Phenolic Compounds from Jackfruit Seeds Using Subcritical Water Extraction. **Foods**, v. 12, 2023.
- ALMEIDA, H. H. S. *et al.* Unlocking the Potential of Hydrosols: Transforming Essential Oil Byproducts into Valuable Resources. **Molecules**, v. 29, ed. 19, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules29194660>.
- ALVES, J. L. F. *et al.* Insights into the bioenergy potential of jackfruit wastes considering their physicochemical properties, bioenergy indicators, combustion behaviors, and emission characteristics. **Renewable Energy**, v. 155, p. 1328-1338, 2020.
- APOLÔNIO, B. M. *et al.* O potencial terapêutico do hidrolato de plantas medicinais nos tratamentos estéticos. **Peer Review**, v. 5, n. 24, 2023.
- ATTENBOROUGH, E. *et al.* Feed composition and particle size affect the physicochemical properties of jackfruit-corn extrudates. **LWT – Food Science and Technology**, v. 185, 2023.
- AZEVEDO, A. R. *et al.* Semi-continuous subcritical hydrolysis of orange waste biomasses for integrated production of fermentable sugars and platform chemicals. **Chemical Engineering and Processing - Process Intensification**, v. 197, 2024.
- BANGAR, S. P. *et al.* Avocado seed discoveries: Chemical composition, biological properties, and industrial food applications. **Food Chemistry**, v. 16, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100507>.
- BARROS-CASTILHO, J. C. *et al.* Volatile profiles of five jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) cultivars grown in the Mexican Pacific area. **Food Research International**, v. 139, 2021.
- BENZIE, I. F. F.; STRAIN, J. J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. **Analytical biochemistry**, v. 239, n. 1, p. 70-76, 1996.
- BIZZO, H. R.; REZENDE, C. M. O mercado de óleos essenciais no brasil e no mundo na última década. **Química Nova**, v. 45, n. 8, p. 949-958, 2022. DOI: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170889>.
- BRAHMA, R.; RAY, S. In-depth analysis on potential applications of jackfruit peel waste: A systematic approach. **Food Chemistry Advances**, v. 1, 2022.
- BRAHMA, R. *et al.* Sustainable Valorization of Jackfruit Peel Waste: Bio-Functional and Structural Characterization. **Food Bioengineering**, v. 4, p. 88-100, 2025.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M.E.; BERSET, C. Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. **Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie**, 28, 25-30, 1995.
- CAMARGO, D. A. **Perfil Bioativo e Potenciais Aplicações de Resíduos de Laranja e Uva Isolados e Fermentados**. 2020. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2020.

- CAPOVILLE, B. **Grãos de Destilaria como Fonte Indireta de Lipases: Produção, Caracterização e Aplicação**. 2017. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2017.
- CHIZZOLA, R.; GANSINGER, D. Chemical Composition and Antioxidant Activity of *Artemisia argyi* Essential Oil and Hydrolate. **Compounds**, v. 3, n. 3, p. 521-531, 2023.
- COZZI, L. *et al.* Effects of essential oils and hydrolates on the infectivity of murine norovirus. **Viruses**, v. 15, n. 3, p. 682, 2023.
- CULMONE, A. *et al.* Hydrolate and EO Application to Reduce Decay of Carica papaya during Storage. **Horticulturae**, v. 9, n. 2, p. 204, 2023.
- DAIUTO, E. R. *et al.* Composição química e atividade antioxidante da polpa e resíduos de abacate ‘HASS’. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 36, n. 2, p. 417-424, 2014.
- DEMYTTENAERE, J. C. R. *et al.* Biotransformation of ($\pm$)-linalool by fungi: formation of new oxides. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 46, n. 5, p. 1854–1857, 1998.
- DHOUIBI, N. *et al.* Impact of the extraction method on the chemical composition and antioxidant potency of *Rosmarinus officinalis* L. extracts. **Metabolites**, v. 13, ed. 2, 290, 2023.
- DI MATTEO, A. *et al.* Morphological characteristics, ascorbic acid and antioxidant activity during fruit ripening of four lemon (*Citrus limon* (L.) *Burm. F.*) cultivars. **Scientia Horticulturae**, v. 276, 2021.
- EMBRAPA. **Desperdício e clima**. Estudos socioeconômicos e ambientais, 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/93791692/artigo-desperdicio-e-clima>. Acesso em: 12 mai 2025.
- FANG, C. S. *et al.* Effect of inhaled aromatherapy on sleep quality in critically ill patients: A systematic review and network meta-analysis. **Journal Clinical Nursing**, v. 34, ed. 3, p. 1000-1012, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1111/jocn.17368>.
- FÉLIZ-JIMÉNEZ, A. SANCHES-ROSÁRIO, R. Bioactive Compounds, Composition and Potential Applications of Avocado Agro-Industrial Residues: A Review. *Applied sciences*, v. 14, ed. 21, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/app142110070>.
- FLEURI, L. F. *et al.* We17: Collective responsibility in connecting projects with global goals - General information and user manual. v. 1, 2025.
- FUFA, D. D. *et al.* Drying kinetic models, thermodynamics, physicochemical qualities, and bioactive compounds of avocado (*Persea americana* Mill. *Hass variety*) seeds dried using various drying methods. **Heliyon**, v. 11, 2025.
- GALLEGOS, A. *et al.* Development of a color-based, non-destructive method to determine leaf N levels of Hass avocado under field conditions. **Smart Agricultural Technology**, v. 11, 2025.

- GALVAN-LIMA, A. *et al.* Headspace volatolome of peel flours from citrus fruits grown in Brazil. **Food Research International**, v. 150, 2021.
- GONÇALVES, S.; CAMELO, A. The Role of Elderberry Hydrolate as a Therapeutic Agent in Palliative Care. **Antioxidants**, v. 14, n. 2, p. 233, 2025.
- GRIMM, J.; STEINHAUS, M. Characterization of the Major Odor-Active Compounds in Jackfruit Pulp. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 67, ed. 20, 2019.
- HOLANDA, L. E. G. de. **Composição química e atividades antimicrobianas dos óleos essenciais dos diferentes tecidos de *Morinda citrifolia* Linn RUBIACEAE**. 2017. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2017.
- HUA, Z. *et al.* TCT-GC/MS Analysis of Volatile Composition of Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*). **Food Science**, v. 31, ed. 6, p. 141-144, 2010.
- INVESTSP. **Líder nacional: produção paulista de abacate cresce mais de 8,5% em 2023**. Invest SP, 2024. Disponível em: <https://www.investe.sp.gov.br/noticia/lider-nacional-producao-paulista-de-abacate-cresce-mais-de-8-5-em-2023/>. Acesso em: 06 mai 2025.
- JAKUBCZYK, K.; TUCHOWSKA, A.; JANDA-MILCZAREK, K. Plant hydrolates – Antioxidant properties, chemical composition and potential applications. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 142, 2021.
- KALSE, S. B.; SWAMI, S. B. Recent application of jackfruit waste in food and material engineering: a review. **Food Bioscience**, v. 48, 2022.
- KANT, R.; KUMAR, A. Review on essential oil extraction from aromatic and medicinal plants: Techniques, performance and economic analysis. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 30, 2022.
- KARAAHMET, A. Y.; BILGIÇ, F. Ş. The effect of aromatherapy on labor pain, duration of labor, anxiety and Apgar score outcome: a systematic review and meta-analysis. **The European Research Journal**, v. 9, ed. 5, p. 1258-1270, 2023. DOI: 10.18621/eurj.1261999.
- KHORASANIAN, A. S. *et al.* The effects of hesperidin supplementation on cardiovascular risk factors in adults: a systematic review and dose–response meta-analysis. **Sec. Nutrition and Metabolism**, v. 10, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1177708>.
- KUMAR, S. *et al.* Current progress in valorization of food processing waste and by-products for pectin extraction. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 239, 2023.
- LANGGUT, D. The Citrus Route Revealed: From Southeast Asia into the Mediterranean. **HortScience**, v. 52, ed. 6, p. 814 – 822, 2017. DOI: 10.21273/HORTSCI11023-16.
- LANTE, A.; TINELLO, F. Citrus hydrosols as useful by-products for tyrosinase inhibition. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 27, p. 154-159, 2015.

- LE, T. A. N.; LEE, J. J. L.; CHEN, W. N. Stimulation of lactic acid production and *Lactobacillus plantarum* growth in the coculture with *Bacillus subtilis* using jackfruit seed starch. **Journal of Functional Foods**, v. 104, 2023.
- LIMA, A. M.; BIROLI, W. G.; RODRIGUES-FILHO, E. Optimized production of antimicrobial compounds by endophytic *Aspergillus niger* CBMAI 2766. **Process Biochemistry**, v. 143, p. 315-322, 2024.
- LIMA, V. S. *et al.* Análise da produção científica nacional sobre hidrolatos: uma revisão bibliométrica. 13º Fórum Internacional Ecoinovar, 2024. Disponível em: https://ecoinovar.submissao.com.br/13ecoinovar/anais/arquivos/139.pdf?utm_source=. Acesso em: 03 nov 2025.
- LIU, R. *et al.* Antioxidant activity increased due to dynamic changes of flavonoids in orange peel during *Aspergillus niger* fermentation. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 58, p. 3329-3336, 2023.
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ, B. N. *et al.* Transforming orange peel waste into hydrogen: The effect of biocompound extraction and inoculum-to-substrate ratio on dark fermentation. **International Journal of Hydrogen Energy**, 2025.
- LU, Q. *et al.* Peel oils from three Citrus species: volatile constituents, antioxidant activities and related contributions of individual components. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, p. 4492-4502, 2019.
- MAJI, S. *et al.* Integration of microwave assisted pretreatment for ameliorating the extraction of lemongrass essential oil by steam distillation and follow up with phenolic extraction: Improvising traditional processes through a green approach. **Sustainable Chemistry One World**, v. 8, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scowo.2025.100121>.
- MALAGÓN-ROMERO, D. H. *et al.* Pyrolysis of Hass Avocado (*Persea americana*) Seeds: Kinetic and Economic Analysis of Bio-oil, Gas, and Biochar Production. **BioEnergy Research**, 2025.
- MAMY, D. *et al.* Valorization of Citrus Reticulata Peels for Flavonoids and Antioxidant Enhancement by Solid-State Fermentation Using *Aspergillus niger* CGMCC 3.6189. **Molecules**, v. 27, p. 8949, 2022.
- MORE, V. Relatório de Pesquisa sobre o Tamanho, Participação, Tendências e Análise do Mercado de Hidrossóis: Previsão do Tamanho, Participação, Tendências e Análise do Mercado até 2035. Market Research Future, p. 110, ID: MRFR/FnB/3362-HCR, 2025.
- MARMULLA, R.; HARDER, J. Microbial monoterpene transformations—a review. **Frontiers in Microbiology**, v. 5, p. 346, 2014.
- MAROVIC, R. *et al.* The Nutritional Potential of Avocado By-Products: A Focus on Fatty Acid Content and Drying Processes. **Foods**, v. 13, ed. 13, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13132003>.
- MHGUB, I. M. *et al.* Chemical composition, antioxidant activity and structure of pectin and extracts from lemon and orange peels. **Biotechnology Research**, v. 45, n. 4, 2018.

- MOHAMMED, I. O.; ALRASHEID, A. A.; AYOUB, S. M. H. CG-MS Analysis and Study of the Antimicrobial Activity of *Citrus paradisi*, *Citrus aurantifolia*, and *Citrus sinensis* Peel Essential Oils as Hand Sanitizer. **International Journal of Microbiology**, v. 24, ed. 1, 2024.
- MORA-SANDÍ, A. *et al.* *Persea Americana* Agro-Industrial Waste Biorefinery for Sustainable High-Value-Added Products. **Polymers (Basel)**, v. 13, ed. 11, p. 1727, 2021.
- NASCIMENTO, J. C. *et al.* Effectiveness of aromatherapy with sweet orange oil (*Citrus sinensis* L.) in relieving pain and anxiety during labor. **Explore**, v. 21, ed. 1, 2025.
- NEEKHRA, S. *et al.* Abordagens inovadoras para microencapsulação de compostos bioativos e probióticos: uma revisão atualizada. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 46, ed. 11, 2022.
- NEGRO, V. *et al.* Citrus waste as feedstock for bio-based products recovery: Review on limonene case study and energy valorization. **Bioresource Technology**, v. 214, p. 806-815, 2016.
- OGO, O. *et al.* Characterization and antioxidant activity of peel extracts from three varieties of *Citrus sinensis*. **Heliyon**, [S.l.], v. 10, 2024.
- PAL, P. *et al.* Circular Bioeconomy in Action: Transforming Food Wastes into Renewable Food Resources. **Foods**, v. 13, n. 18, 2024.
- PATHAK, N. *et al.* Valorization of jackfruit waste into value added products and their potential applications. **Frontiers in Nutrition**, v. 9, 2022.
- PEREIRA, M. S. **Bioprospecção de moléculas e compostos ativos a partir de resíduos de laranja isolados e fermentados visando a aplicação em cosméticos**. 2023. Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2023.
- PÉREZ-IZQUIERDO, C.; SERRANO-PÉREZ, P.; RODRÍGUEZ-MOLINA, M. C. Chemical composition, antifungal and phytotoxic activities of *Cistus ladanifer* L. essential oil and hydrolate. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 45, 2022.
- PÉREZ, M.; DOMINGUEZ-LÓPEZ, I.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. M. The Chemistry Behind the Folin–Ciocalteu Method for the Estimation of (Poly)phenol Content in Food: Total Phenolic Intake in a Mediterranean Dietary Pattern. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 71, p. 17543-17553, 2023.
- PINO-OTÍN, M. R. *et al.* Spanish Satureja montana L. hydrolate: Ecotoxicological study in soil and water non-target organisms. **Industrial Crops & Products**, v. 178, 2022.
- PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA). **Relatório do Índice de Desperdício de Alimentos 2024**. Brasília, 2024.
- PRUSTY, S. *et al.* Jackfruit waste and peels: Potential as livestock feed. **Indian Journal of Animal Sciences**, v. 94, ed. 5, p. 395-400, 2024. DOI: <https://doi.org/10.56093/ijans.v94i5.136138>.

- PYRZYNSKA, K. Hesperidin: A Review on Extraction Methods, Stability and Biological Activities. *Nutrients*, v. 14, ed. 12, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu14122387>.
- RAMÍREZ-GIL, J. G. *et al.* Phenological variations of avocado cv. Hass and their relationship with thermal time under tropical conditions. **Heliyon**, v. 9, 2023.
- RAVEAU, R.; FONTAINE, J.; SAHRAOUI, A. L. H. Essential Oils as Potential Alternative Biocontrol Products against Plant Pathogens and Weeds: A Review. *Foods*, v. 9, ed. 3, p. 365, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods9030365>.
- RAY, A. *et al.* Supercritical fluid extraction of bioactives from fruit waste and its therapeutic potential. **Food Bioscience**, v. 52, 2023.
- RE, R. *et al.* Antioxidant Activity Applying an Improved ABTS Radical Cation Decolorization Assay. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 26, n. 9/10, p. 1231–1237, 1999.
- REIS, D. R.; AMBROSI, A.; DI LUCCIO, M. Encapsulated essential oils: A perspective in food preservation. **Future Foods**, v. 5, 2022.
- RITIKA, R. *et al.* Valorisation of fruit waste for harnessing the bioactive compounds and its therapeutic application. **Trends in Food Science & Technology**, v. 144, 2024.
- RODRÍGUEZ-CARPENA, J. G. *et al.* Avocado (*Persea americana* Mill.) phenolics, in vitro antioxidant and antimicrobial activities, and inhibition of lipid and protein oxidation in porcine patties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 10, p. 5625–5635, 2011.
- ROSSETTO, M. R. M. *et al.* Antioxidant Substances and Pesticide in Parts of Beet Organic and Conventional Manure. **African Journal of Plant Science**, 3, 245-253, 2009.
- SALAZAR-LÓPEZ, N. J. *et al.* Avocado fruit and by-products as potential sources of bioactive compounds. **Food Research International**, v. 138, 2020.
- SANJEEWA, K. K. A. *et al.* Enzyme-assisted extraction of bioactive compounds from seaweeds and microalgae. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 167, 2023.
- SANLI, I.; OZKAN, G.; ŞAHİN-YEŞİLÇUBUK, N. Green extractions of bioactive compounds from citrus peels and their applications in the food industry. **Food Research International**, v. 212, p. 116352, 2025.
- SANTOS, J. C. *et al.* Atividade antimicrobiana in vitro dos óleos essenciais de orégano, alho, cravo e limão sobre bactérias patogênicas isoladas de vôngole. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1557-1564, 2011.
- SANTOS, J. S. dos.; SILVA, L. C. da.; BOAS, E. V. de B. V. Bioativos em alimentos: compostos e aplicações funcionais. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 21, n. 2, p. 209-221, 2019.
- SHAFIE, M. H. *et al.* Atividade antioxidante e antimicrobiana do hidrossol vegetal e sua potencial aplicação em produtos cosmeceuticos. **Jundishapur Journal of Natural Pharmaceutical Products**, v. 17, n. 4, 2022.

- SIDHU, A. S. Jackfruit Improvement in the Asia-Pacific Region: A status report. **Asia-Pacific Association of Agricultural Research Institutions**, p. 182, 2012. Disponível em: https://www.apaari.org/web/wp-content/uploads/downloads/2012/10/Jackfruit-A-Success-Story_31-8-2012.pdf?utm_source=. Acesso em: 06 nov 2025.
- SIK, B. *et al.* Comparison of ultrasound-assisted extraction and modified QuEChERS technique for extraction of hesperidin from lemon peel (*Citrus limon L.*) as determined by HPLC. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 142, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.10755>.
- SINGH, B. *et al.* Insights into the chemical composition and bioactivities of citrus peel essential oils. **Food Research International**, v. 143, 2021.
- SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. **Methods in enzymology**, v. 299, p. 152-178, 1999.
- STONE, A. K. *et al.* Effect of solid-state fermentation on the functionality, digestibility, and volatile profiles of pulse protein isolates. **Food Bioscience**, v. 61. 2024.
- TAHERI, S.; HOSSEINI, S. S. Waste not, want not: Comprehensive valorization of fruit and vegetable waste from single-product recovery to zero-waste strategies. **Cleaner Waste Systems**, v. 11, 2025.
- TORRES-LÉON, C. *et al.* Solid-state fermentation with *Aspergillus niger* to enhance the phenolic contents and antioxidative activity of Mexican mango seed: A promising source of natural antioxidants. **LWT**, v. 112, 2019.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Citrus: World Markets and Trade 2025**. Foreign Agricultural Service, 2025.
- VANDEWEYER, R. *et al.* Biotransformation of (S)-(+)-linalool by *Aspergillus niger*: investigation of culture conditions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, n. 6, p. 2644–2650, 2001.
- VERMA, D. K. *et al.* Recent trends in microbial flavour Compounds: A review on Chemistry, synthesis mechanism and their application in food. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 29, ed. 3, p 1565-157, 2022.
- VITO, M. D. *et al.* Monarda citriodora hydrolate vs essential oil comparison in several antimicrobial applications. **Industrial Crops & Products**, v. 128. p. 206-212, 2019.
- WEISANY, W. *et al.* Targeted delivery and controlled released of essential oils using nanoencapsulation: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, v. 303, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2022.102655>.
- YADAV, S. *et al.* Valorisation of agri-food waste for bioactive compounds: recent trends and future sustainable challenges. **Molecules**, v. 29, 2024.

- YAN, M. R. *et al.* Targeting Open Market with Strategic Business Innovations: A Case Study of Growth Dynamics in Essential Oil and Aromatherapy Industry. **Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity**, v. 5, 2019.
- YAZID, N. A. *et al.* Solid-State Fermentation as a Novel Paradigm for Organic Waste Valorization: A Review. **Sustainability**, v. 9, ed. 2, p. 224, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/su9020224>.
- ZANUTTO-ELGUI, M. R. Z. **Produção de proteases fúngicas e aplicação para a obtenção de peptídeos bioativos**. 2019. Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2019.
- ZAWIRSKA-WOJTASIAK, R. Optical purity of (R)-()-1-octen-3-ol in the aroma of various species of edible mushrooms. **Food Chemistry**, v. 86, ed. 1, 113–118, 2024.
- ZHANG, L. *et al.* Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) peel: A better source of antioxidants and α-glucosidase inhibitors than pulp, flake and seed, and phytochemical profile by HPLC-QTOF-MS/MS. **Food Chemistry**, v. 234, p. 303-313, 2017.
- ZHANG, X. *et al.* Optimized recovery of essential oils from citrus peels using cellulase-salt pretreatment and microwave hydrodistillation: A study of yield and functional activities. **LWT**, v. 231, 2025.