

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ANTIFÚNGICO DOS EXTRATOS AQUOSOS DE
Porophyllum ruderale FRENTE A FUNGOS ASSOCIADOS À CONTAMINAÇÃO
DE ALIMENTOS

MARIA APARECIDA BAPTISTA NUNES

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO
CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
AGOSTO – 2025

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ANTIFÚNGICO DOS EXTRATOS AQUOSOS DE
Porophyllum ruderale FRENTE A FUNGOS ASSOCIADOS À CONTAMINAÇÃO
DE ALIMENTOS**

MARIA APARECIDA BAPTISTA NUNES

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual
do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das
exigências para obtenção do título de Mestre em
Produção Vegetal”

Orientador: Profa. Luana Pereira de Moraes
Coorientador: Prof. Silvério de Paiva Freitas

**CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
AGOSTO – 2025**

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

N972 Nunes, Maria Aparecida Baptista.

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ANTIFÚNGICO DOS EXTRATOS AQUOSOS DE *Porophyllum ruderale* FRENTE A FUNGOS ASSOCIADOS À CONTAMINAÇÃO DE ALIMENTOS / Maria Aparecida Baptista Nunes. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2025.

73 f. : il.

Inclui bibliografia.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2025.

Orientadora: Luana Pereira de Moraes.

Coorientador: Silverio de Paiva Freitas.

1. conservação . 2. ácidos fenólicos . 3. PANCs . 4. controle microbiano . 5. segurança alimentar. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ANTIFÚNGICO DOS EXTRATOS AQUOSOS DE
Porophyllum ruderale FRENTE A FUNGOS ASSOCIADOS À CONTAMINAÇÃO
DE ALIMENTOS

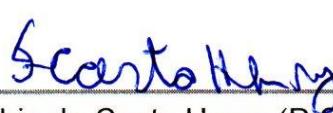
MARIA APARECIDA BAPTISTA NUNES

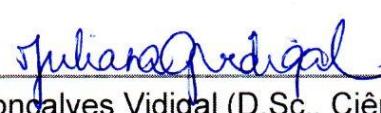
"Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como
parte das exigências para obtenção do título de
Mestre em Produção Vegetal"

Aprovada em 20 de agosto de 2025

Comissão Examinadora:


Prof. Silvério de Paiva Freitas (D.Sc., Fitotecnia) - UENF


Prof. Fábio da Costa Henry (D.Sc., Medicina Veterinária) - UENF


Profa. Juliana Gonçalves Vidigal (D.Sc., Ciência e Tecnologia de Alimentos) – IFF


Profa. Luana Pereira de Moraes (D.Sc., Ciências e Tec. de Alimentos) – UENF
Orientadora

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Jesus Cristo, razão do meu existir, por sustentar- me em cada passo desta caminhada. À Nossa Senhora por abrir os caminhos e suavizar os momentos de dificuldade. Ao meu Anjo da Guarda pela proteção;

Ao meu esposo Ewerton Barroso, companheiro incansável, cuja presença amorosa foi essencial para que eu pudesse conciliar os múltiplos papéis de esposa, mãe, professora e mestrande; Às minhas maiores preciosidades, meus filhos Lara Barroso, Lucas Barroso e Laís Barroso, pela paciência diante das ausências inevitáveis e pelo incentivo em cada etapa desta caminhada;

À minha tia Maria de Fátima Otal pelo cuidado e carinho com a pequena Laís, permitindo que eu me dedicasse aos estudos com mais tranquilidade;

À minha mãe, Margarida Nunes, exemplo de força que sempre ensinou o valor do ensino público e a importância do estudo; Ao meu pai, Ronaldo Nunes, que, com sua paixão pela terra despertou em mim o amor pelo universo das plantas;

À professora orientadora Luana Pereira de Moraes (LTA), minha gratidão profunda. O seu acolhimento e respeito fizeram toda a diferença nesse processo. Mais do que isso, agradeço por ter caminhado ao meu lado com amizade e incentivo, sua humanidade e humildade me ensinaram a ser uma pessoa melhor;

Ao professor Silvério Freitas (LFIT), cuja coorientação foi marcada não apenas por competência, mas também por incentivo constante, inspirado por sua admirável trajetória de vida e atuação profissional;

À professora Meire L. L. Martins (LTA) por ter disponibilizado o seu laboratório e materiais para executar o experimento;

À professora Daniela B. de Oliveira (LTA) por permitir que a análise do perfil químico do extrato fosse realizado em seu laboratório;

À Érica Cruz (USP), por gentilmente, ter realizado a liofilização do extrato, pelos ensinamentos e conversas que sempre trouxeram-me alegria;

À professora Sílvia M. F. Pereira, (LTA), que em meio a tantas responsabilidades, realizou o teste em HPLC do extrato, além de partilhar o conhecimento necessário para os cálculos de quantificação dos compostos fenólicos com zelo e competência;

À doutoranda Luciana Moreno pelos seus preciosos ensinamentos sobre

a produção de extratos, pelo companheirismo nas alegrias e nas dificuldades e, sobretudo, pela amizade construída e fortalecida em Cristo;

À doutoranda Danielle Alvaristo (LFIT) e ao técnico Jader Zacharias Freitas que foram companheiros de jornada não apenas no cultivo do vegetal, mas também em um momento delicado da minha caminhada onde ambos, com generosidade assumiram o plantio por mim, gesto que carrego como símbolo de solidariedade;

À Laura C. D. Vidigal Juliano, doutoranda em Ciência Naturais (UENF) por ter me ofertado o seu tempo, me ensinando com toda paciência a conduzir os ensaios microbiológicos. Além de partilhar sua amizade quando me escutava e aconselhava;

À Valdinéia de Sousa Ferreira e a Ana Lúcia Paes Barbosa, técnicas do LTA, que estiveram sempre disponíveis, oferecendo os materiais e os saberes do cotidiano de laboratório. Mas, muito além disso, foram presenças que acolheram minha caminhada com escuta, partilha e afeto. Nossas conversas sobre espiritualidade e religiosidade me sustentaram nos momentos de dificuldade;

Ao técnico Vicente Mussi, da Clínica Fitossanitária (UENF), por sua delicadeza e generosidade ao compartilhar seus conhecimentos sobre o cultivo dos fungos utilizados neste trabalho;

Ao auxílio generoso dos companheiros do LTA: Ariel Gonçalves, Vitória Nunes, Lucélia Paixão e João Vitor da Silva;

À amizade tecida com Gimara Rangel (LFIT), Angélica Correa, Bianca de Castro (LTA), Ana Clara Menditi (LTA) e Alexandre de Souza (LEAG), meu reconhecimento mais afetuoso. Com esses companheiros de caminhada, aprendi que a vida na universidade pode ser também espaço de leveza, alegria, escuta e sabedoria partilhada. Foram muitos momentos divertidos;

Aos membros da banca examinadora por gentilmente aceitarem o convite e contribuírem com suas valiosas considerações;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), à Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), ao Laboratório de Tecnologia de Alimentos (LTA) e a todos que, de forma direta ou indireta, colaboraram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo Geral.....	3
2.2 Objetivos Específicos.....	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1 Espécie vegetal <i>Porophyllum ruderale</i>	4
3.2 Contaminação fúngica e riscos associados à presença de micotoxinas em alimentos.....	17
3.3 Aditivos alimentares sintéticos e saúde humana: uma abordagem crítica sobre efeitos adversos e segurança do consumo	20
3.4 Extratos Naturais Antifúngicos como Alternativa Sustentável na Conservação de Alimentos	23
4. MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1 Cultivo do material vegetal	25
4.2 Semeadura da espécie <i>Porophyllum ruderale</i>	25
4.3 Transplantio das mudas.....	26
4.4 Coleta do material vegetal	28
4.5 Elaboração dos extratos aquosos	28
4.6 Ensaios microbiológicos.....	30
4.7 Análise estatística	33
4.8 Análise do perfil químico do extrato aquoso por CLAE	33
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
5.1 Identificação da espécie.....	36
5.2 Extratos aquosos de <i>Porophyllum ruderale</i>	36
5.3 Ensaio microbiológico do método de difusão em meio sólido	36
5.4 Ensaio microbiológico do método de difusão em disco.....	39
5.5 Análise estatística dos halos de inibição pelo método de difusão em disco ..	42
5.6 Perfil químico por CLAE	43
5.7 Quantificação dos ácidos fenólicos	45
6. CONCLUSÕES	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. *Porophyllum ruderale*.
- Figura 2. Fruto aquênio de *Porophyllum ruderale*.
- Figura 3. Estruturas químicas de terpenoides identificados em *Porophyllum ruderale*.
- Figura 4. Flavonoides identificados em *Porophyllum ruderale*.
- Figura 5. Ácidos fenólicos identificados em *Porophyllum ruderale*.
- Figura 6. Mudas de *Porophyllum ruderale* em tubetes.
- Figura 7. Enraizamento da muda de *Porophyllum ruderale*.
- Figura 8. Mudas transplantadas em vasos em casa de vegetação.
- Figura 9. Mudas transplantadas para canteiro externo.
- Figura 10. Raízes (A), caules (B) e folhas (C) de *Porophyllum ruderale*.
- Figura 11. Fungos *Aspergillus niger* em placa de Petri.
- Figura 12. Extratos aquosos de *Porophyllum ruderale*
- Figura 13. Aspecto das culturas de *Aspergillus niger* após sete dias de incubação com diferentes tratamentos.
- Figura 14. Controle negativo de crescimento fúngico.
- Figura 15. Ensaio de difusão em disco com extrato de folhas secas de *Porophyllum ruderale* frente a *Penicillium* sp..
- Figura 16. Ensaio de difusão em disco com extrato de folhas secas de *Porophyllum ruderale* frente a *Aspergillus niger*.
- Figura 17. Cromatograma do extrato aquoso das folhas secas de *Porophyllum ruderale*.
- Figura 18. C Picos cromatográfico: ácido gálico (1), ácido cumárico (2) e ácido ferúlico (3).
- Figura 19. Concentração dos compostos fenólicos identificados no extrato aquoso por decocção das folhas secas de *Porophyllum ruderale* em uma grama de extrato seco.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Mecanismos bioquímicos de deterioração por fungos filamentosos.

Tabela 2. Médias e desvios-padrão dos diâmetros dos halos de inibição (mm) obtidos no ensaio microbiológico pelo método de difusão em disco, para diferentes microrganismos.

Tabela 3. Dados cromatográficos e espectrais dos ácidos fenólicos identificados no extrato aquoso de *Porophyllum ruderale*.

RESUMO

NUNES; Maria Aparecida Baptista; M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; agosto de 2025; Avaliação do potencial antifúngico dos extratos aquosos de *Porophyllum ruderale* frente a fungos associados à contaminação de alimentos; Orientadora: D.Sc. Luana Pereira de Moraes; Coorientador: D.Sc. Silvério de Paiva Freitas.

A crescente preocupação com os impactos adversos provocados pelo uso contínuo de antimicrobianos sintéticos à saúde humana e ao meio ambiente tem impulsionado a busca por alternativas mais seguras e sustentáveis, especialmente no contexto da conservação de alimentos. Nesse cenário, *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass., pertencente à família Asteraceae e amplamente conhecida como arnica paulista, se destaca como uma promissora planta alimentícia não convencional (PANC), devido à presença de metabólitos secundários como flavonoides, ácidos fenólicos e terpenoides, que conferem à espécie reconhecido potencial bioativo. Apesar de seu uso tradicional na medicina popular, ainda são escassas as evidências científicas acerca de sua aplicação como agente antifúngico para fins alimentícios. Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar a atividade antifúngica dos extratos aquosos obtidos dos capítulos florais, folhas, raízes e caules de *Porophyllum ruderale* frente aos fungos fitopatogênicos *Aspergillus niger* e *Penicillium* sp. Os extratos foram obtidos a partir de material vegetal cultivado em condições controladas, sendo os ensaios microbiológicos conduzidos em laboratório. Os resultados demonstraram que apenas o extrato aquoso de folhas secas apresentou atividade antifúngica relevante contra os dois microrganismos testados, com formação de halos de inibição visíveis, o que indica a presença de compostos ativos capazes de interferir na viabilidade fúngica. A análise do perfil químico por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) permitiu identificar a presença de três ácidos fenólicos: ácido gálico, ácido ferúlico e ácido p-cumárico, sendo este último o composto predominante no extrato ativo. Tais achados sugerem que os efeitos antifúngicos observados podem estar associados, em grande parte, à ação sinérgica desses compostos fenólicos, conhecidos por seus mecanismos de inibição da síntese de parede celular, desestabilização de membranas e indução de estresse oxidativo em microrganismos. Além disso, este estudo reforça a importância da investigação científica de PANCs, destacando sua relevância para o avanço do conhecimento sobre espécies vegetais com potencial de

uso em diferentes contextos da ciência e tecnologia de alimentos.

Palavras-chave: conservação, ácidos fenólicos, PANCs, controle microbiano, segurança alimentar.

ABSTRACT

NUNES, Maria Aparecida Baptista; M.Sc.; State University of Northern Fluminense Darcy Ribeiro; August 2025; Evaluation on the antifungal potential of aqueous extracts of *Porophyllum ruderale* against fungi associated with food contamination; Advisor: D.Sc. Luana Pereira de Moraes; Co-advisor: D.Sc. Silvério de Paiva Freitas.

The growing concern regarding the adverse impacts of continuous use of synthetic antimicrobials on human health and the environment has driven the search for safer and more sustainable alternatives, particularly in the context of food preservation. In this scenario, *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass., a member of the Asteraceae family and widely known as “arnica paulista,” stands out as a promising underutilized edible plant (PANC) due to the presence of secondary metabolites such as flavonoids, phenolic acids, and terpenoids, which confer recognized bioactive potential to the species. Despite its traditional use in folk medicine, scientific evidence regarding its application as an antifungal agent for food purposes remains scarce. Therefore, the present study aimed to evaluate the antifungal activity of aqueous extracts obtained from the floral capitula, leaves, roots, and stems of *Porophyllum ruderale* against the phytopathogenic fungi *Aspergillus niger* and *Penicillium* sp. Extracts were prepared from plant material cultivated under controlled conditions, and microbiological assays were performed in a laboratory setting. The results showed that only the aqueous extract of dried leaves exhibited relevant antifungal activity against both tested microorganisms, producing visible inhibition halos, indicating the presence of active compounds capable of interfering with fungal viability. Chemical profiling by High-Performance Liquid Chromatography (HPLC) identified the presence of three phenolic acids: gallic acid, ferulic acid, and p-coumaric acid, the latter being the predominant compound in the active extract. These findings suggest that the observed antifungal effects may be largely associated with the synergistic action of these phenolic compounds, known for their mechanisms of inhibiting cell wall synthesis, destabilizing membranes, and inducing oxidative stress in microorganisms. Furthermore, this study reinforces the importance of scientific investigation of underutilized edible plants, highlighting their relevance to the advancement of knowledge on plant species with potential applications in various contexts of food science and technology.

Keywords: preservation, phenolic acids, non-conventional food plant, microbial control, food safety.

1. INTRODUÇÃO

A contaminação de alimentos por microrganismos, representa um dos principais entraves à segurança alimentar e à saúde pública mundial. Diversas espécies fúngicas são capazes de deteriorar alimentos durante o armazenamento e a comercialização, comprometendo sua qualidade, reduzindo sua vida útil e, sobretudo, produzindo micotoxinas, substâncias tóxicas associadas a efeitos carcinogênicos, imunossupressores e mutagênicos (Duque-Soto et al., 2023).

Diante dessa ameaça, a indústria alimentícia, historicamente, recorreu ao uso de conservantes sintéticos como estratégia para o controle microbiológico. No entanto, o consumo recorrente desses aditivos químicos tem sido amplamente questionado por seus potenciais efeitos adversos à saúde humana, incluindo toxicidade crônica (Awad et al., 2022).

Em resposta a esse cenário, observa-se um movimento crescente em direção à substituição de aditivos artificiais por compostos naturais, mais seguros e sustentáveis. Entre as alternativas investigadas, os extratos vegetais ricos em compostos bioativos, têm se destacado por suas reconhecidas propriedades antimicrobianas e antioxidantes (Rammal et al., 2024). Tais compostos oriundos de folhas, flores, cascas e outras partes não convencionais de plantas comestíveis, vêm sendo cada vez mais utilizados na formulação de alimentos de “rótulo limpo”, mais compatíveis com as exigências contemporâneas dos consumidores por saúde e transparência (Mar et al., 2021).

O uso de extratos aquosos como infusões e decocções tem ganhado destaque sobretudo, em razão do apelo ao uso de solventes verdes e métodos sustentáveis de extração. Essas preparações apresentam menor toxicidade, custo reduzido e maior compatibilidade com a legislação de alimentos, tornando-se viáveis para aplicação industrial (Awad et al., 2022). Alguns estudos apresentam análises da atividade antimicrobiana e antioxidante de determinados extratos aquosos (Mar et al., 2021), como também a aplicação destes diretamente nos alimentos (Damani; Topi, 2022). Ainda assim, grande parte das investigações tem se concentrado nos óleos essenciais das diferentes plantas, como *Porophyllum ruderale*, havendo uma lacuna quanto à caracterização química e à atividade biológica de extratos aquosos para a utilização na indústria alimentícia (Marques et al., 2020).

Nesse contexto, torna-se necessário o aprofundamento de estudos com

espécies vegetais nativas ou pouco exploradas, especialmente aquelas com potencial bioativo. *Porophyllum ruderale*, conhecida popularmente como arnica paulista ou arnica brasileira, é um exemplo representativo dessa realidade. Embora muitas vezes classificada como planta invasora, essa espécie integra o grupo das Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANCs) (Dilkin et al., 2020). Essa ambiguidade em sua classificação, podendo gerar diferentes interpretações, reforça a necessidade de pesquisas que revelem seu valor funcional e sua aplicabilidade como fonte natural de compostos bioativos para a indústria alimentícia.

Além disso, é uma espécie amplamente distribuída em regiões tropicais das Américas, tradicionalmente utilizada na medicina popular de países como Brasil, Bolívia, Paraguai e Peru (Hajdu; Hohmann, 2012; Odonne et al., 2013; Dilkin et al., 2020), bem como na culinária mexicana, onde é empregada em saladas, pratos cozidos e molhos (Fukalova; García-Martínez; Raigón, 2022). Relatos apontam que a espécie apresenta propriedades antioxidantes e antimicrobianas, com predomínio de estudos focados em seu óleo essencial (Marques et al., 2020; Pawłowska et al., 2022). Contudo, são escassas as investigações sobre os efeitos antifúngicos de seus extratos aquosos, sobretudo contra fungos contaminantes de alimentos como *Aspergillus niger* e *Penicillium* sp.

Diante da crescente demanda por aditivos naturais, investigar espécies como *Porophyllum ruderale* pode contribuir para a diversificação de fontes de compostos bioativos, fomentando a valorização da biodiversidade local e incentivando o desenvolvimento de tecnologias alimentares mais seguras e sustentáveis (Conde- Hernández; Guerrero-Beltrán, 2014). Além disso, avaliar a relação entre o perfil químico desses extratos e sua atividade antifúngica é essencial para compreender os mecanismos de ação envolvidos e para sua possível aplicação prática na indústria de alimentos.

Assim, este estudo avaliou o potencial antifúngico dos extratos aquosos das diferentes partes de *Porophyllum ruderale* frente a fitopatógenos associados à contaminação de alimentos, relacionando aos constituintes químicos identificados.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a atividade antifúngica dos extratos aquosos de *Porophyllum ruderale* frente aos fungos patogênicos *Aspergillus niger* e *Penicillium* sp., visando seu potencial como conservante natural na preservação de alimentos.

2.2 Objetivos Específicos

- Obter extratos vegetais aquosos, a partir de diferentes órgãos da planta (capítulos florais, folhas, caules e raízes) de *Porophyllum ruderale*, utilizando técnica de extração que garanta a preservação dos compostos bioativos;
- Avaliar, por meio de testes *in vitro*, a atividade antifúngica dos extratos frente aos fungos patogênicos *Aspergillus niger* e *Penicillium* sp., com base na inibição do crescimento micelial e na formação de halos de inibição;
- Realizar a caracterização fitoquímica do extrato aquoso de *Porophyllum ruderale* por meio de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE), visando identificar os compostos bioativos presentes;
- Relacionar os compostos bioativos identificados na caracterização fitoquímica do extrato aquoso de *Porophyllum ruderale* com os resultados obtidos nos testes microbiológicos, a fim de compreender a possível correlação entre a composição química e a atividade antimicrobiana do extrato;
- Analisar o potencial dos extratos de *Porophyllum ruderale* como alternativas naturais e sustentáveis para a conservação de alimentos, considerando sua viabilidade prática em substituição a conservantes sintéticos.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Espécie vegetal *Porophyllum ruderale*

Porophyllum ruderale (Jacq.) Cass. (Figura 1), integrante da família Asteraceae, é uma planta herbácea nativa da América do Sul e amplamente distribuída no território brasileiro. É designada por diferentes nomes populares, tais como “arnica-paulista”, “arnica-brasileira”, “arnica-do-campo”, “couve-cravinho”, “erva-de-veado”, “picão-branco” e “cravinho”, os quais variam conforme a região (Marques et al., 2020).



Figura 1: *Porophyllum ruderale*.

Fonte: acervo pessoal.

A espécie apresenta fácil identificação botânica devido às suas folhas alternadas, de formato oval e margens onduladas, características que lhe conferem uma aparência distintiva. As flores hermafroditas organizam-se em inflorescências tubulares (Vázquez-Atanacio et al., 2022), com corola que varia do verde ao amarelo (Marnotte; Bourgeois, 2019). O caule, geralmente simples e glabro, apresenta textura lisa ao tato, e sua coloração é predominantemente esverdeada (Fonseca, 2001).

Os frutos dessa espécie são aquênios secos (Figura 2), com uma única semente, de formato alongado ou levemente curvado, medindo de 8 a 10 mm de comprimento e cerca de 0,4 mm de diâmetro. Apresentam coloração marrom-escura

e, na parte superior, possuem um *pappus* formado por cerdas amareladas, medindo de 7 a 10 mm, que auxiliam na dispersão pelo vento (Marnotte; Bourgeois, 2019).



Figura 2: Fruto aquênio de *Porophyllum ruderale*.

Fonte: acervo pessoal

Um traço morfológico distintivo da espécie é a presença de glândulas de óleo visíveis a olho nu, dispostas ao longo das margens foliares (Moreira e Bragança, 2010). Essas glândulas localizam-se na lâmina foliar e armazenam óleos essenciais (Fonseca; Meira; Casali, 2006), cuja composição é majoritariamente formada por monoterpenos como mirceno, limoneno, sabineno, felandreno, ocimeno e pineno (Pawlowska et al., 2022). No entanto, a composição química desses óleos pode variar consideravelmente em função de diversos fatores, incluindo localização geográfica, época de colheita, condições climáticas, parte da planta utilizada e até mesmo o estágio de desenvolvimento vegetativo (Raggi et al., 2014; Konfo et al., 2023).

As informações sobre a morfologia e a anatomia radicular de *Porophyllum ruderale* ainda são escassas. Contudo, estudos indicam que a espécie apresenta sistema radicular pivotante, conforme confirmado por Marinho; Lescano; Santos (2024). A análise anatômica descritiva realizada por Fonseca; Meira; Casali (2006) demonstrou que as raízes apresentam organização tetrarca, estrutura secundária bem desenvolvida e presença de ductos secretores no córtex, o que evidencia um metabolismo especializado.

A espécie demonstra ampla capacidade de dispersão e adaptação ecológica. Seu ciclo anual, associado à reprodução exclusivamente por sementes, favorece o desenvolvimento em ambientes variados. A germinação depende de condições ambientais específicas, sendo mais eficiente em temperaturas entre 25°C e 30°C. A

ausência de luz, por sua vez, inibe significativamente esse processo, indicando fotossensibilidade para o início da atividade fisiológica (Yamashita et al., 2008).

Trata-se de uma planta com potencial para se desenvolver tanto em solos cultivados (Dilkin et al., 2020) quanto em ambientes com solos de baixa fertilidade e textura arenosa (Vázquez-Atanacio et al., 2022). Sua eficiência reprodutiva mostra-se compatível com o clima de Campos dos Goytacazes, que, apesar de classificado como tropical, apresenta atualmente características de semiárido devido à redução das chuvas e elevação das temperaturas (Galdo, 2021).

Embora no Brasil *Porophyllum ruderale* seja considerada uma planta daninha de média frequência, sem formar grandes infestações, mas com facilidade de propagação em margens de estradas e terrenos baldios (Dilkin et al., 2020), em outras regiões do mundo, como na Costa do Marfim, a espécie tem se destacado como uma das principais invasoras agrícolas da atualidade. Nessa região, apresenta alta frequência em áreas cultivadas que não havia sido registrada anteriormente em inventários florísticos locais (Florence; Awa; Frédéric, 2024).

3.1.1 Potencial multifuncional de *Porophyllum ruderale*: da medicina popular à gastronomia

Do ponto de vista etnofarmacológico, *Porophyllum ruderale* tem sido amplamente utilizada por diferentes culturas tradicionais no tratamento de diversas enfermidades. Em comunidades indígenas, como a Porvenir (localizada na Reserva Indígena Bajo Paraguá, na Amazônia boliviana), a planta é empregada no manejo de distúrbios hepáticos e da vesícula biliar, além de ser utilizada em casos de diarreia e doenças cardiovasculares (Hajdu; Hohmann, 2012). No México, seu uso remonta ao período pré-hispânico, sendo tradicionalmente preparada na forma de infusões aplicadas topicalmente para aliviar dores de cabeça e de dente, bem como para tratar distúrbios gastrointestinais, hepáticos e condições dermatológicas (Vázquez-Atanacio et al., 2022). No Brasil, *Porophyllum ruderale* é popularmente indicada para o tratamento da leishmaniose cutânea, redução de processos inflamatórios internos, alívio de dores e aceleração da cicatrização de feridas, atribuindo-se à espécie propriedades anti-inflamatórias e regenerativas (Takahashi et al., 2011).

Embora *Porophyllum ruderale* seja reconhecida por seu uso tradicional e por apresentar potencial terapêutico, a produção científica envolvendo a espécie ainda é

limitada. Os estudos dedicados à investigação de aspectos agronômicos, anatômicos e químicos da planta são reduzidos, o que compromete a definição de práticas de cultivo adequadas e o desenvolvimento de aplicações tecnológicas mais amplas. Tal cenário evidencia a necessidade de aprofundamento científico que permita o uso sustentável e seguro da espécie, não apenas para o aproveitamento terapêutico, mas também em diferentes contextos produtivos (Marques et al., 2020).

Em relação ao consumo alimentar, apesar de sua utilização ainda ser pouco difundida no Brasil, *Porophyllum ruderale* vem ganhando destaque no mercado das Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANCs), em razão de seu valor nutricional e atributos sensoriais marcantes. Diante desse panorama, a espécie tem sido considerada uma iguaria culinária, despertando o interesse de chefs e consumidores comprometidos com uma alimentação diversificada, saudável e alinhada à valorização da biodiversidade regional (Zacharias; Carvalho; Madeira, 2021).

Em países como o México, a espécie apresenta maior visibilidade na culinária regional, sendo tradicionalmente empregada em saladas, cozidos e ensopados. Suas propriedades sensoriais têm sido descritas como uma combinação dos sabores característicos da rúcula (*Eruca sativa*), do coentro (*Coriandrum sativum*) e da arruda (*Ruta graveolens*), resultando em um perfil sensorial singular e facilmente reconhecível (Arias-Rico et al., 2020). Além disso, segundo Pawłowska et al. (2022), essa planta aromática é consumida como tempero em diversos países da América Central e do Sul, o que reforça seu valor etnobotânico.

Do ponto de vista nutricional, *Porophyllum ruderale* se destaca por apresentar elevadas concentrações de ácido ascórbico, especialmente em preparações cruas. Estudos revelam que a planta pode conter até 952,2 mg por 100 g de massa seca e cerca de 140 mg por 100 g de massa fresca. Esses valores são expressivos quando comparados a hortaliças como o brócolis (*Brassica oleracea*), que possui aproximadamente 89 mg de ácido ascórbico por 100 g de material fresco, evidenciando o potencial de *Porophyllum ruderale* como uma relevante fonte natural de antioxidantes (Arias-Rico et al., 2020; Athayde et al., 2024). O ácido ascórbico, popularmente conhecido como vitamina C, é um composto hidrossolúvel essencial para o bom funcionamento do organismo humano. Por não ser sintetizado pelo corpo, deve ser obtido por meio da alimentação ou suplementação. Essa vitamina desempenha papel crucial em diversos processos fisiológicos, sendo especialmente reconhecida por sua ação antioxidante e seu impacto positivo sobre o sistema

imunológico (Manela-Azulay et al., 2003).

3.1.2 *Porophyllum ruderale* como fonte de compostos bioativos

As plantas sintetizam uma vasta gama de compostos bioativos que cumprem funções essenciais para a defesa, adaptação e sobrevivência vegetal, além de apresentarem potencial funcional relevante para aplicações nas indústrias alimentícia, cosmética e farmacêutica. Entre os principais grupos de metabólitos secundários, destacam-se os alcaloides, os terpenoides e os polifenóis, cujas propriedades antioxidantes e antimicrobianas têm sido investigadas pela comunidade científica evidenciando seu potencial como conservantes naturais capazes de substituir, parcial ou integralmente, os aditivos e os conservantes sintéticos (Awad et al., 2022; Islam et al., 2024).

Entre as espécies vegetais estudadas, *Porophyllum ruderale* tem se mostrado particularmente promissora por conter em sua composição substâncias de interesse funcional. Há relatos da ocorrência de terpenoides e polifenóis em seus extratos, cujas propriedades bioativas reforçam o potencial da espécie para aplicações no desenvolvimento de conservantes naturais e ingredientes de valor agregado (Fukalova; García-Martínez; Raigón, 2022).

3.1.2.1 Terpenoides

Os terpenoides representam uma das mais amplas e diversificadas classes de metabólitos secundários encontrados nas plantas, sendo compostos derivados de unidades de isopreno (C_5H_8). Sua diversidade estrutural permite classificá-los em subclasses como monoterpenos, diterpenos, triterpenos, entre outras, o que se traduz em uma variedade funcional notável (Wang et al., 2023). Essas moléculas participam ativamente dos processos fisiológicos vegetais e cumprem papéis essenciais na proteção contra estresses bióticos e abióticos, como o ataque de herbívoros, fungos e microrganismos, além de auxiliarem na polinização e na comunicação entre organismos (Alamgir, 2018).

No contexto biotecnológico, os terpenoides possuem grande relevância para as indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética, contribuindo para o aroma, cor e propriedades terapêuticas de diversas espécies vegetais. Compostos como carvacrol,

timol, citral, mentol e geraniol, frequentemente presentes em óleos essenciais, demonstram expressiva atividade antimicrobiana e vêm sendo explorados como alternativas naturais a aditivos sintéticos (Lyu; Lee; Chen, 2019).

A espécie *Porophyllum ruderale* apresenta uma rica variedade de terpenoides (Figura 3), principalmente em seu óleo essencial extraído da parte aérea da planta. A composição química descrita revela a predominância de monoterpenos hidrocarbonetos, como limoneno, mirceno, E-β-ocimeno, β-pineno, sabineno e β-felandreno (Loayza et al., 1999; Fonseca; Meira; Casali, 2006; Raggi et al., 2014). Também foram identificados o α-copaeno que é um sesquiterpeno que apresenta atividade antimicrobiana e inseticida. E também o fitol, um diterpeno alcoólico, reconhecido por suas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antileishmania (Souza et al., 2003; Takahashi et al., 2011; Conde-Hernández; Guerrero-Beltrán, 2014).

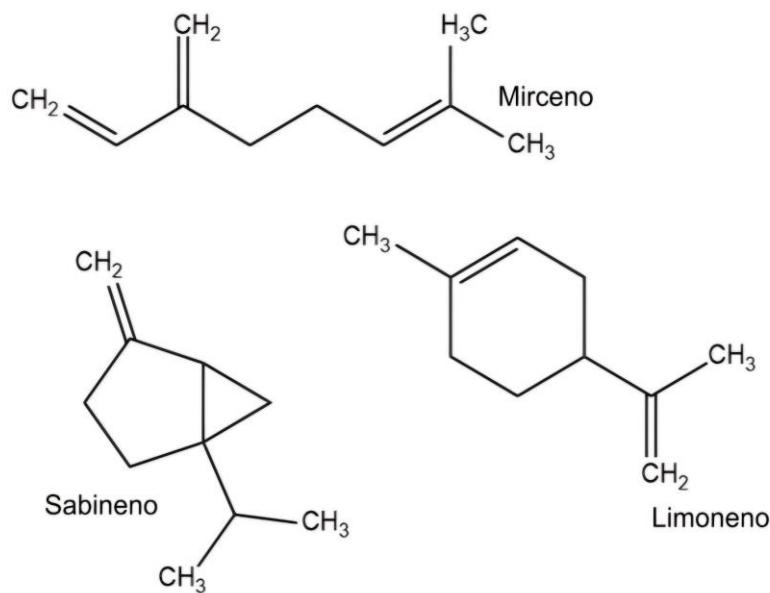


Figura 3: Estruturas químicas de terpenoides identificados em *Porophyllum ruderale*.
Fonte: PubChem, 2025.

3.1.2.2 Polifenóis

Os polifenóis são compostos caracterizados pela presença de um ou mais anéis aromáticos contendo grupos hidroxila, constituindo uma das classes

fitoquímicas mais abundantes e funcionalmente relevantes nos órgãos vegetais, como folhas, flores, frutos e sementes (Zhang et al., 2022).

Sua classificação é baseada na topologia do anel fenólico e dos átomos laterais ou moléculas a ele ligados (Rudrapal et al., 2024), portanto podem ser flavonoides ou não flavonoides, este último grupo abrange os taninos, ácidos fenólicos, lignanas e estilbenos (Câmara et al., 2021). Tais compostos têm sido associados a propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antimicrobianas, conferindo-lhes papel de destaque na conservação de alimentos e na promoção da saúde humana (Rickards et al., 2021).

No caso específico de *Porophyllum ruderale*, a caracterização dos polifenóis tem sido cientificamente confirmada por meio da identificação de flavonoides (Athayde et al., 2024; Vargas-Madriz et al., 2023), taninos (Fonseca; Meira; Casali, 2006) e ácidos fenólicos (Fukalova; García-Martínez; Raigón, 2022).

Os flavonoides apresentam como característica estrutural um esqueleto básico C6-C3-C6, composto por dois anéis aromáticos (A e B) conectados por um anel heterocíclico de seis membros (anel C), cuja configuração determina a classe do composto (Mao; Luo; Cai, 2023). As variações nos grupos funcionais, bem como o grau de oxidação e saturação do anel central, originam diferentes subclasses, influenciando diretamente propriedades como solubilidade, estabilidade e atividade biológica (Wang; Li; Bi, 2018). Essas modificações estruturais possibilitam a classificação dos flavonoides em flavonóis, flavonas, flavanonas, isoflavonas, chalconas e proantocianidinas, entre outras (Shen et al., 2022).

Outro aspecto relevante diz respeito à forma como esses compostos se encontram ligados à matriz vegetal. Em geral, os flavonoides estão associados a componentes da parede celular, como celulose, hemicelulose, lignina, pectinas e proteínas por meio de ligações O-glicosídicas (via grupos hidroxila) ou C-glicosídicas (ligações carbono-carbono), o que interfere diretamente na sua biodisponibilidade e na expressão de seus efeitos biológicos (Gao et al., 2024).

Estudos demonstram que as folhas de *Porophyllum ruderale* apresentam diversidade de flavonoides (Figura 4). Entre os compostos identificados destacam-se epigallocatequina, miricetina, apigenina, pinocembrina e naringenina, indicando a presença de diferentes subclasses como flavanonas, flavonóis e flavonas em seus extratos (Vargas-Madriz et al., 2023).

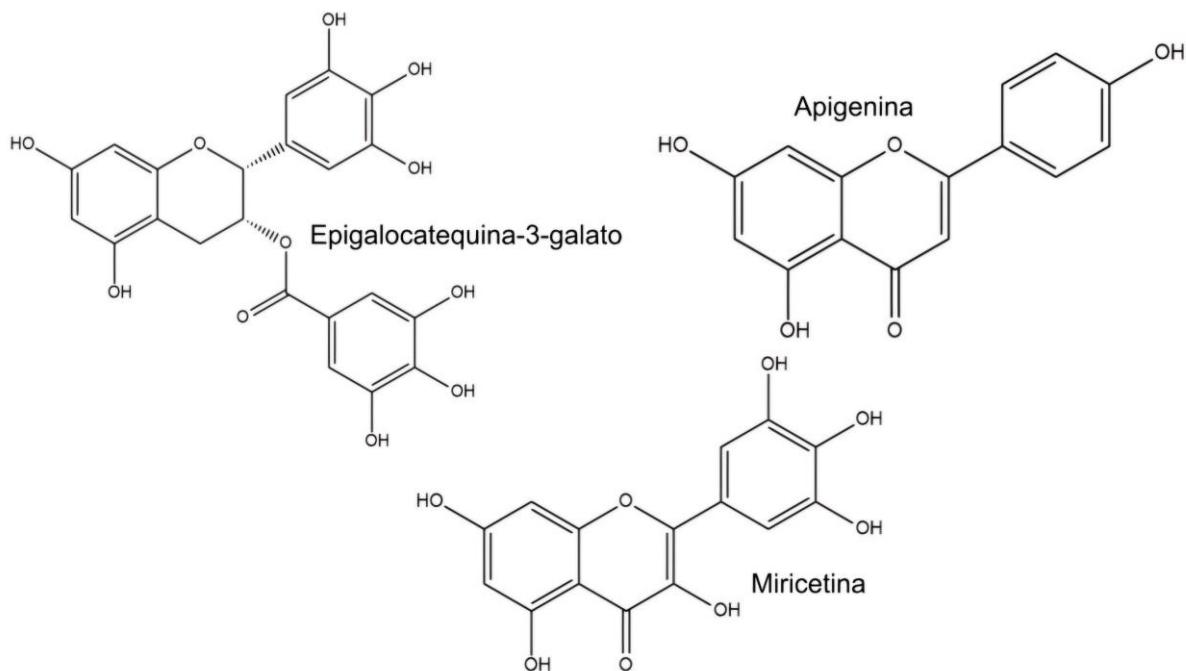


Figura 4: Flavonoides identificados em *Porophyllum ruderale*.
Fonte: PubChem, 2025.

Outra classe de polifenóis são os taninos, que apresentam potencial bioativo com propriedades antioxidantes, antimicrobianas, antialérgicas e anticancerígenas, sendo utilizados nas indústrias farmacêutica, nutracêutica e alimentícia (Cosme et al., 2025).

Estruturalmente, os taninos são moléculas complexas, com alta polaridade e peso molecular considerável, o que dificulta sua extração e purificação (Ozogul et al., 2025). Podem ser classificados em hidrolisáveis, quando formados por glicose esterificada com ácidos fenólicos, como o gálico e o elágico, ou em condensados, quando compostos por polímeros de catequina ou epicatequina ligados por pontes carbono-carbono. Os taninos hidrolisáveis predominam em dicotiledôneas, enquanto os condensados ocorrem em angiospermas e gimnospermas (Yoshida; Amakura; Yoshimura, 2010).

Estudos fitoquímicos recentes confirmam a presença de taninos condensados em *Porophyllum ruderale*, com destaque para a identificação de epicatequina e epigallocatequina galato, precursores típicos desse grupo (Vargas-Madriz et al., 2023). A detecção concomitante de ácido gálico também aponta para a possível ocorrência de taninos hidrolisáveis, ainda que estudos específicos de caracterização estrutural sejam escassos. A literatura anatômica já havia sugerido que ductos presentes no limbo foliar e, especialmente, nos caules jovens, são estruturas

secretoras associadas à síntese e ao acúmulo desses compostos fenólicos (Fonseca; Meira; Casali, 2006).

Além de seu papel estrutural e sua ocorrência anatômica em *Porophyllum ruderale*, os taninos apresentam ação antimicrobiana devido à sua capacidade de interagir com enzimas microbianas e de romper membranas celulares, inibindo o crescimento de bactérias e fungos (Ozogul et al., 2025). Contudo, seu uso exige cautela: em organismos animais, taninos podem reduzir a digestibilidade de nutrientes ao inibir enzimas digestivas, e, em bebidas como chá e vinho, formam complexos com proteínas e carboidratos, dificultando a absorção de nutrientes essenciais, como o ferro, contribuindo para quadros de anemia ferropriva (Sharma et al., 2019). Apesar dessas limitações, a estrutura fenólica dos taninos tem sido explorada para aplicações tecnológicas, como ingredientes bioativos e componentes de filmes biohíbridos com potencial antioxidante e antimicrobiano voltado à conservação de alimentos (Molino et al., 2020).

Outros polifenóis presentes em *Porophyllum ruderale* são os ácidos fenólicos (Fukalova; García-Martínez; Raigón, 2022), compostos orgânicos caracterizados pela presença de um anel aromático conjugado a um grupo ácido carboxílico. Esses compostos derivam, principalmente, do ácido benzoico ou do ácido cinâmico, e podem ser classificados em duas categorias principais: os ácidos hidroxibenzóicos, que possuem uma estrutura mais simples com sete átomos de carbono, e os ácidos hidroxicinâmicos, que apresentam uma cadeia lateral adicional, resultando em uma estrutura com nove átomos de carbono. Essas diferenças estruturais são determinantes para a distribuição e as funções biológicas desses ácidos nas plantas (Kumar; Goel, 2019; Yang; Lan; Sun, 2023).

Entre os principais ácidos fenólicos identificados em *Porophyllum ruderale* (Figura 5), destacam-se os ácidos gálico (Vargas-Madriz et al., 2023), ferúlico (Vázquez-Atanacio et al., 2022), cumárico, quínico, clorogênico (Athayde et al., 2024), cafeico e p-cumárico (Fukalova; García-Martínez; Raigón, 2022). Dentre esses compostos, o ácido gálico pertence à classe dos ácidos hidroxibenzóicos, caracterizados por apresentarem uma estrutura C6–C1. Já os ácidos ferúlico, cafeico, p-cumárico e clorogênico são classificados como ácidos hidroxicinâmicos, por possuírem uma cadeia lateral com três átomos de carbono resultando na estrutura C6–C3. O ácido quínico, por sua vez, não pertence diretamente a essas duas classes, mas frequentemente se liga aos hidroxicinâmicos, formando compostos como

o ácido clorogênico (Câmara et al., 2021). Essa diversidade estrutural é relevante, pois influencia diretamente a solubilidade, a estabilidade e a atividade biológica desses compostos nas matrizes vegetais (Furia et al., 2021).

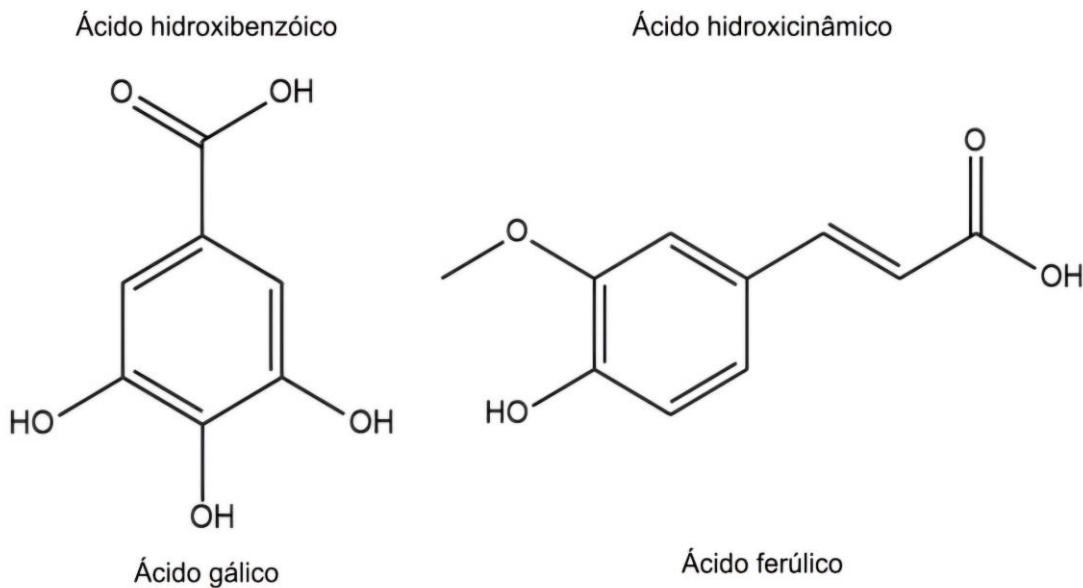


Figura 5: Ácidos fenólicos identificados em *Porophyllum ruderale*.
Fonte: PubChem, 2025.

3.1.3 Fitoquímica aplicada de *Porophyllum ruderale*: diversidade de extratos e propriedades funcionais

Os extratos vegetais consistem em concentrações de compostos bioativos obtidas por meio da extração de diferentes estruturas vegetais, como caules, raízes, folhas, sementes e frutos (Awad et al., 2022). Sua composição pode variar amplamente conforme o solvente utilizado e o método de extração empregado, o que resulta em diferentes tipos de extratos, como por exemplo, aquosos, hidroalcoólicos e oleosos, cada um com características físico-químicas específicas (Rutkowska; Pasqualone, 2025).

Nesse contexto, os extratos obtidos de *Porophyllum ruderale* têm despertado interesse científico em razão de sua expressiva atividade biológica, evidenciada em diferentes modelos experimentais. O extrato aquoso das folhas secas de *Porophyllum ruderale* mostrou capacidade de influenciar a expressão gênica em células de câncer colorretal, promovendo aumento da expressão do gene supressor APC (*Adenomatous Polyposis Coli*) e inibição do oncogene KRAS (*Kirsten Rat Sarcoma viral oncogene*

homolog). Análises por modelagem molecular revelaram afinidade elevada entre os compostos rutina e epigalocatequina galato com as proteínas APC e K-RAS, sugerindo interação direta em vias moleculares relevantes para a carcinogênese (Vargas-Madriz et al., 2023).

Sob uma abordagem experimental distinta, o extrato hidroalcoólico da parte aérea de *Porophyllum ruderale* demonstrou expressivo efeito nefroprotetor em modelo de lesão renal aguda induzida por tioacetamida, substância utilizada para provocar dano tóxico nos rins. No estudo conduzido por Vázquez-Atanacio et al. (2022), observou-se a preservação dos biomarcadores urinários e séricos em animais tratados com o extrato, sugerindo ação anti-inflamatória mediada principalmente pelos ácidos hidroxicinâmicos, como o ácido clorogênico e o ácido ferúlico, e pelos glicosídeos de flavonóis, como a quer cetina-3-O-glicosídeo e o kaempferol-3-O-glicosídeo. Esses compostos atuam neutralizando espécies reativas de oxigênio e modulando a resposta inflamatória, com destaque para a regulação de citocinas como TNF- α e IL-8, desempenhando, assim, papel crucial na proteção das estruturas renais frente ao estresse oxidativo e à inflamação.

Um avanço significativo nessa área foi o trabalho de Athayde et al. (2024), que, por meio de análises sofisticadas utilizando UHPLC-ESI-QToF-MS², identificaram no extrato hidroalcoólico das partes aéreas da planta a presença de diversos compostos bioativos, como ácido quínico, ácido clorogênico e seus derivados, isômeros de ácido dicafeoilquínico, rutina, isoquerçitrina e glicosídeos de quer cetina, além de compostos nitrogenados ainda não completamente elucidados.

Os extratos etanólicos de *Porophyllum ruderale* também revelaram complexidade fitoquímica expressiva e destacável potencial bioativo pois concentra substâncias como compostos fenólicos, flavonoides e, em algumas amostras, triterpenos. A presença e a abundância desses metabólitos variam conforme fatores ambientais, genéticos e operacionais como o local de coleta, o estágio de desenvolvimento da planta e a metodologia empregada na extração (Venâncio, 2021).

Em consonância com essas evidências, investigações conduzidas por Renovato-Núñez et al. (2023) identificaram compostos como ácido rosmariníco, sinensetina, ácido chicórico e escopoletina nos extratos etanólicos das partes aéreas de *Porophyllum ruderale*, demonstrando que a composição fitoquímica da espécie varia conforme o método de extração empregado. O estudo comparou maceração, ultrassom, micro-ondas e a combinação ultrassom/micro-ondas, observando que a

eficiência na liberação dos metabólitos e a estabilidade dos compostos dependem tanto da energia aplicada quanto da natureza química das moléculas, sendo necessária a seleção criteriosa do método para garantir a integridade dos bioativos.

Em relação à atividade biológica, os extratos etanólicos apresentaram desempenho relevante em ensaios antioxidantes, com índices de inibição superiores a 50% no teste com radical DPPH (1,1-difenil-2-picril-hidrazil). Além disso, foi observada atividade inibitória contra a bactéria *Klebsiella pneumoniae*, ainda que esse efeito tenha sido detectado apenas no ensaio de difusão em disco, não sendo confirmado na técnica de microdiluição. Essa discrepância sugere limitações na difusão dos compostos bioativos frente à parede celular de bactérias gram-negativas (Venâncio, 2021).

Embora as pesquisas apontem para o expressivo potencial biológico de *Porophyllum ruderale*, os dados referentes à composição química de seus extratos ainda são pontuais e limitados. A maioria dos estudos concentra-se no óleo essencial extraído da parte aérea da planta, cujas análises demonstram atividade antifúngica expressiva. Esse óleo tem se mostrado eficaz na inibição do crescimento micelial de importantes fungos, como *Sclerotium rolfsii*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Sclerotinia minor*, *Macrophomina phaseolina*, *Rhizoctonia solani*, *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* e *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* (Fonseca et al., 2015; Dilkin et al., 2020).

Esses achados reforçam o potencial do óleo essencial da espécie como fonte de compostos bioativos. No entanto, é importante ressaltar que a sua composição química e o seu rendimento apresentam grande variabilidade, influenciada tanto por fatores técnicos, como o método de extração, solvente e condições de análise, quanto por aspectos ambientais e de manejo (Tongnuanchan; Benjakul, 2014).

Entre os fatores intrínsecos e extrínsecos, destacam-se o momento da colheita, o estágio de desenvolvimento e a sazonalidade, que afetam diretamente a qualidade e a quantidade dos metabólitos produzidos. Estudos demonstram que a colheita no início da manhã proporciona maior teor de óleo essencial, enquanto no final do ciclo ocorre acúmulo mais expressivo de taninos (Fonseca et al., 2007). O período de pré-floração se mostra o mais adequado para a obtenção de óleos essenciais em maior concentração, sendo as inflorescências mais produtivas que as folhas (Fonseca, 2001).

Adicionalmente, a composição do óleo essencial sofre variações sazonais,

com a sabinocetona predominando entre junho e outubro, e o β -felandreno destacando-se entre fevereiro e maio, sobretudo entre 90 e 120 dias após o plantio (Fonseca, 2001). Essa alternância entre constituintes majoritários revela a dinâmica metabólica da espécie, cujos óleos são compostos principalmente por monoterpenos.

Dessa forma, observa-se que a qualidade e a quantidade dos compostos bioativos de *Porophyllum ruderale* são moduladas por múltiplos fatores, o que torna imprescindível a padronização das práticas de cultivo, colheita e processamento. Tal medida é fundamental não apenas para a consistência dos estudos científicos, mas também para garantir a exploração sustentável e segura de seu potencial biotecnológico e alimentício (Fonseca, 2001; Fonseca et al., 2007; Tongnuanchan; Benjakul, 2014).

No que tange à toxicidade, os extratos da planta têm demonstrado baixo potencial tóxico, conforme evidenciado em estudos realizados com modelos animais, nos quais doses elevadas não provocaram efeitos adversos nem mortalidade, indicando um perfil de segurança promissor. Ensaios *in vitro* em culturas celulares corroboram esses dados, revelando ausência de citotoxicidade (Vázquez-Atanacio et al., 2022).

Diante das pesquisas apresentadas, os extratos de *Porophyllum ruderale* revelam versatilidade biotecnológica com possíveis aplicações a serem exploradas, que incluem desde o uso como conservantes naturais até potenciais terapêuticos (Venâncio, 2021). A diversidade de compostos bioativos e suas atividades antioxidantes, anti-inflamatórias e antimicrobianas justificam o interesse pela espécie. Contudo, para sua consolidação em contextos industriais e alimentícios, a escolha do solvente utilizado na extração assume papel central. Nas últimas décadas, tem crescido a preocupação com a substituição de solventes tóxicos por alternativas mais seguras e sustentáveis, sobretudo quando se trata de produtos com aplicação em alimentos. A indústria alimentícia prioriza o uso de solventes não tóxicos, como água e etanol, por serem substâncias reconhecidamente seguras, de fácil manuseio e compatíveis com os princípios da química verde (Sik et al., 2020; Awad et al., 2022). A água, por exemplo, é eficaz na extração de moléculas polares, enquanto sistemas binários com etanol possibilitam a solubilização de compostos menos polares, como polifenóis e flavonoides (Lim et al., 2019; Plaskova; Mlcek, 2023).

Nesse sentido, *Porophyllum ruderale* emerge como uma possibilidade promissora, já que seus extratos aquosos e etanólicos concentram compostos

bioativos com reconhecida atividade antioxidante e antimicrobiana, reforçando seu potencial como fonte natural e segura para a conservação de alimentos, sem a necessidade de solventes agressivos ou métodos com elevado impacto ambiental (Renovato-Núñez et al., 2023).

3.2 Contaminação fúngica e riscos associados à presença de micotoxinas em alimentos

A conservação de alimentos representa um dos pilares fundamentais da indústria alimentícia moderna, integrando um conjunto de estratégias voltadas à manutenção da qualidade, segurança e estabilidade dos produtos ao longo da cadeia produtiva. Esse compromisso tem impulsionado avanços expressivos nas estratégias de biossegurança e nos métodos de preservação, visando atender tanto às normas técnicas de segurança alimentar, quanto às expectativas do mercado consumidor (Konfo et al., 2023).

No entanto, os desafios relacionados à deterioração microbiológica, sobretudo aqueles causados por fungos filamentosos, ainda limitam a plena eficácia das estratégias de conservação de alimentos (Pinto et al., 2023). Apesar dos avanços nos protocolos de produção e nas práticas de controle de qualidade, estima-se que aproximadamente 1,3 bilhão de toneladas de alimentos sejam desperdiçadas anualmente no mundo, sendo os fungos um dos principais responsáveis por essa deterioração (Rolland et al., 2024).

Essa realidade compromete a segurança alimentar global, gera prejuízos econômicos consideráveis e resulta no uso ineficiente de recursos naturais, como solo, água e energia, além de favorecer o aumento das emissões de gases de efeito estufa, devido ao descarte e à decomposição de resíduos orgânicos (Rolland et al., 2024). Nesse cenário, é necessário compreender os mecanismos bioquímicos envolvidos na deterioração induzida por fungos filamentosos, especialmente no que tange às alterações sensoriais, nutricionais e toxicológicas dos alimentos (Mafe; Büsselberg, 2024).

Esses microrganismos atuam desencadeando reações físico-químicas que comprometem diretamente suas características sensoriais, como cor, aroma, textura e sabor, além de reduzirem o valor nutricional e a vida útil dos produtos. A produção de enzimas extracelulares por fungos deteriorantes acelera a degradação da matriz alimentar, potencializando perdas e tornando os alimentos impróprios para o consumo.

(Konfo et al., 2023; Mafe; Büsselberg, 2024).

Dentre os principais gêneros envolvidos nesse processo (Tabela 1), destacam-se *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* e *Alternaria*, microrganismos amplamente distribuídos nos ambientes de cultivo, colheita, armazenamento e processamento de alimentos (Molina-Hernandez et al., 2025).

Tabela 1: Mecanismos bioquímicos de deterioração por fungos filamentosos.

Gênero / Espécie	Mecanismo Bioquímico	Impacto sobre o alimento	Referência
<i>Aspergillus</i> spp. (ex.: <i>A. flavus</i> , <i>A. niger</i>)	Produção de enzimas proteolíticas, amilolíticas e lipolíticas; síntese de micotoxinas como aflatoxinas e ocratoxinas.	Degrada proteínas, amidos e lipídios. Altera textura, aroma, sabor; contaminação com micotoxinas.	Leyva Salas et al. 2017; Pouris et al., 2024.
<i>Penicillium</i> spp. (ex.: <i>P. expansum</i> , <i>P. verrucosum</i>)	Produção de pectinases, poligalacturonases, lipases; síntese de ocratoxina A e patulina.	Reduz firmeza e altera a cor; presença de toxinas nefrotóxicas e imunotóxicas.	Pouris et al., 2024.
<i>Fusarium</i> spp.	Biooxíntese de tricotecenos, fumonisinas e zearalenona.	Contamina grãos, compromete valor nutricional; toxicidade crônica (nefro/hepatotóxica).	Chiotta et al., 2020; Pouris et al., 2024.
<i>Alternaria</i> spp.	Produção de toxinas como alternariol, alternariol monometil éter, tenuazonic acid.	Alterações de cor e sabor; efeitos mutagênicos e alergênicos (toxicológicos).	Chiotta et al., 2020.

Fonte: Leyva Salas et al. 2017; Chiotta et al., 2020; Pouris et al., 2024.

Além dos impactos sobre a integridade sensorial e nutricional dos alimentos, a ação de fungos acarreta riscos toxicológicos relevantes, especialmente em razão da produção de micotoxinas. Esses metabólitos secundários, sintetizados por diversas espécies fúngicas durante o crescimento em substratos alimentares, são reconhecidos por sua elevada toxicidade, estabilidade térmica e persistência nos produtos mesmo após o processamento industrial (Hernández et al., 2022).

Trata-se de compostos de baixa massa molecular (geralmente inferiores a 700 daltons), não peptídicos, termorresistentes e bioativos, que se mantêm estáveis frente aos tratamentos térmicos convencionais, dificultando sua eliminação nos sistemas alimentares. Assim, as micotoxinas representam uma subcategoria crítica da contaminação fúngica, configurando uma ameaça à segurança alimentar e à saúde pública em escala global (Varsha; Nampoothiri, 2016).

A ingestão dessas micotoxinas representa um sério risco à saúde humana, uma vez que podem desencadear efeitos tóxicos como imunotoxicidade,

neurotoxicidade, hepatotoxicidade, nefrotoxicidade e efeitos teratogênicos. Além disso, algumas micotoxinas apresentam potencial carcinogênico reconhecido, contribuindo para o desenvolvimento de neoplasias, especialmente em populações expostas de forma crônica e contínua (Levetin, 2004; Zhang et al., 2022; Molina-Hernandez et al., 2025).

Entre as micotoxinas mais estudadas, destaca-se a aflatoxina B1 (AFB1), produzida por *Aspergillus flavus* e *Aspergillus parasiticus*. Classificada pela IARC (Agência Internacional de Pesquisa em Câncer - 2012) no Grupo 1 de carcinógenos humanos, a AFB1 está fortemente associada ao desenvolvimento de carcinoma hepatocelular (IARC, 2012). Estudos recentes revelam que essa toxina mantém sua estrutura mesmo quando exposta a temperaturas entre 237°C e 306°C, evidenciando que os processos térmicos convencionais são ineficazes para sua completa degradação, o que resulta na sua persistência em alimentos processados (Kępka-Borkowska et al., 2025).

Vale destacar que o aumento das temperaturas globais e as condições climáticas mais secas têm favorecido a proliferação desses fungos produtores de AFB1, ampliando os riscos de contaminação em cadeias produtivas agrícolas, especialmente em regiões tropicais e subtropicais (Kępka-Borkowska et al., 2025). Nesse contexto, culturas extensivamente consumidas, como cereais, grãos, nozes e especiarias, tornam-se particularmente suscetíveis à contaminação por aflatoxinas (Sampaolesi et al., 2022).

Algumas espécies de *Penicillium* estão associadas à contaminação de alimentos como café, queijos, carnes e pães através da produção da ocratoxina (OTA), uma micotoxina nefrotóxica que apresenta alta estabilidade química (Picot et al., 2018). Classificada como possível carcinógeno humano (Grupo 2B), a OTA possui alta afinidade por proteínas plasmáticas, acumulando-se nos rins, seu principal órgão-alvo. Além da nefrotoxicidade, pode provocar efeitos imunotóxicos, neurotóxicos e hepatotóxicos (Jafarzadeh et al., 2022).

O agravamento dessa problemática é evidenciado pela recorrência de doenças transmitidas por alimentos, afetando aproximadamente 600 milhões de pessoas anualmente em escala global, conforme estimativas da Organização Mundial da Saúde. Os sintomas associados incluem cefaleia, vômitos, enterite, febre e diarreia, reforçando o impacto da contaminação fúngica na saúde pública global (Yang et al., 2025).

A ampla presença de esporos fúngicos no ambiente, associada à sua elevada capacidade de dispersão aérea, representa um fator crítico para a contaminação de alimentos. Condições ambientais favoráveis como alta umidade, temperaturas elevadas e ventilação deficiente intensificam esse risco (Levetin, 2004; Liew; Mohd-Redzwan, 2018). Além disso, a aptidão desses microrganismos para colonizar uma grande variedade de matérias-primas e produtos alimentícios ao longo de toda a cadeia produtiva torna o controle ainda mais desafiador (Rolland et al., 2024).

Diante desses desafios, diferentes estratégias têm sido adotadas para mitigar os impactos da contaminação fúngica e da presença de micotoxinas nos alimentos. Entre elas, destaca-se o uso de conservantes sintéticos, utilizados de forma recorrente pela indústria alimentícia devido à sua reconhecida eficácia na inibição do crescimento microbiano e na extensão da vida útil dos produtos (Jafarzadeh et al., 2022).

No entanto, apesar de sua funcionalidade tecnológica, esses aditivos vêm gerando preocupações cada vez mais frequentes na comunidade científica e entre os órgãos reguladores, sobretudo em razão de sua baixa biodegradabilidade e dos possíveis efeitos adversos à saúde humana quando consumidos continuamente ou em concentrações elevadas (Jafarzadeh et al., 2022).

3.3 Aditivos alimentares sintéticos e saúde humana: uma abordagem crítica sobre efeitos adversos e segurança do consumo

O crescimento da indústria alimentícia levou ao uso sistemático de aditivos sintéticos com o objetivo de garantir a estabilidade, segurança e aceitabilidade dos produtos (Yu et al., 2021). Entretanto, a crescente prevalência de doenças crônicas, distúrbios metabólicos e disfunções imunológicas têm gerado questionamentos sobre a segurança a longo prazo desses compostos, especialmente quando presentes de forma cumulativa na dieta cotidiana (Pinto et al., 2023; Konfo et al., 2023). Essa preocupação torna-se ainda mais pertinente diante das evidências toxicológicas emergentes e da necessidade de práticas alimentares mais seguras e transparentes. Esses aditivos englobam uma variedade de substâncias químicas incorporadas intencionalmente aos alimentos com finalidades tecnológicas ou sensoriais bem definidas (Khezerlou et al., 2022). Além de potencializarem características sensoriais, como sabor, cor e textura, exercem papel fundamental na ampliação da vida útil dos produtos e na prevenção de doenças transmitidas por alimentos. Somadas à sua comprovada eficácia microbiológica, a alta viabilidade econômica desses compostos

justifica a ampla aceitação e utilização no setor industrial (Yu et al., 2021).

Entre os conservantes sintéticos mais empregados pela indústria alimentícia, destacam-se os sulfitos, benzoatos, nitratos, nitritos, sorbatos, hipoclorito de sódio, além de antioxidantes como BHA (butil-hidroxi-anisol), BHT (butil-hidroxitolueno), galato de propila e TBHQ (terc-butil-hidroquinona). Esses compostos são amplamente utilizados pela sua capacidade de garantir a estabilidade dos produtos e prolongar sua vida de prateleira (Falleh et al., 2019; Khezerlou et al., 2022; Nieto et al., 2024).

Embora sejam eficazes, há riscos toxicológicos potenciais associados ao uso desses aditivos, motivo pelo qual a legislação brasileira estabelece limites específicos para cada substância (Brasil, 2023). Adicionalmente, diversas pesquisas têm associado o consumo frequente desses compostos a efeitos adversos à saúde, incluindo distúrbios metabólicos, reações alérgicas e possível carcinogenicidade (Konfo et al., 2023; Pinto et al., 2023; Nieto et al., 2024).

Estudos experimentais têm contribuído para o avanço na compreensão dos riscos associados ao uso prolongado de conservantes sintéticos. Em pesquisa conduzida por Abd-Elhakim et al. (2023), avaliaram-se, em modelo animal, os efeitos da exposição oral, durante 90 dias, aos aditivos sorbato de potássio, BHA, benzoato de sódio, propionato de cálcio e ácido bórico. Os resultados revelaram alterações bioquímicas significativas, como o aumento de enzimas indicadoras de dano hepático e renal, redução das defesas antioxidantes e lesões histopatológicas nos tecidos examinados. O ácido bórico apresentou os impactos mais graves, seguido por BHA e sorbato de potássio, o que evidencia diferentes níveis de toxicidade entre os compostos analisados. Portanto, é essencial reavaliar a segurança dos conservantes sintéticos para garantir a saúde do consumidor e promover práticas industriais mais conscientes (Abd-Elhakim et al., 2023).

O uso de sulfitos também suscita preocupações. Embora atuem como eficazes agentes antimicrobianos, esses compostos podem catalisar a degradação da tiamina (vitamina B1), micronutriente essencial ao metabolismo energético, prejudicando o valor nutricional dos alimentos (Gutiérrez-del-Río et al., 2018). Da mesma forma, o emprego recorrente de nitrito e nitrato, utilizados em carnes processadas, tem sido associado a um aumento do risco de doenças cardiovasculares e câncer. A formação de compostos N-nitrosos, resultantes da conversão do nitrito de sódio, especialmente em produtos submetidos a elevadas temperaturas, representa um potencial carcinogênico relevante (Dong et al., 2024).

Apesar de sua eficácia na inibição de microrganismos indesejáveis, diversos aditivos sintéticos não apresentam seletividade, afetando adversamente microrganismos benéficos e comprometendo a homeostase intestinal (Cunha; Paula, 2023). Entre os conservantes mais controversos, destaca-se o benzoato de sódio, cuja associação com a vitamina C pode originar benzeno, uma substância tóxica, teratogênica e potencialmente cancerígena. Estudos também indicam que o benzoato pode induzir estresse oxidativo, interferir na regulação hormonal, comprometer a fertilidade e alterar o metabolismo do triptofano, impactando negativamente a produção de serotonina e, consequentemente, o equilíbrio neuroendócrino do organismo (Walczak-Nowicka; Herbet, 2022).

Além dos conservantes, outros aditivos como emulsificantes e corantes artificiais vêm sendo apontados por seu potencial impacto sobre o sistema reprodutivo, ampliando as controvérsias em torno do uso indiscriminado de aditivos sintéticos (Dammak et al., 2020).

Diante do exposto, torna-se evidente que o uso de aditivos alimentares sintéticos, embora tecnicamente eficiente, requer uma análise crítica sob o prisma da saúde pública (Konfo et al., 2023). O desafio contemporâneo consiste em equilibrar a necessidade de preservação dos alimentos com a minimização de riscos toxicológicos, exigindo maior rigor regulatório e incentivo por produtos *clean label*. A reavaliação constante desses aditivos é fundamental para garantir práticas alimentares mais seguras e sustentáveis (Alam et al., 2025).

3.4 Extratos Naturais Antifúngicos como Alternativa Sustentável na Conservação de Alimentos

A crescente preocupação com os riscos associados ao uso de aditivos sintéticos na conservação de alimentos impulsionou o desenvolvimento de alternativas mais seguras, eficazes e ambientalmente sustentáveis. Nesse cenário, os extratos vegetais têm se destacado como fontes promissoras de compostos bioativos com ação antifúngica. Sua aplicação está fundamentada na presença de metabólitos secundários como alcaloides, fenóis, taninos, flavonoides, terpenoides e sesquiterpenos, que atuam na inibição de fungos deteriorantes e patogênicos (Salamatullah et al., 2021). A principal atuação desses compostos ocorre na estrutura celular dos microrganismos, afetando a permeabilidade da membrana, os processos

enzimáticos e a respiração celular, o que resulta na limitação do crescimento fúngico (Cabral; Pinto; Patriarca, 2013).

Extratos e óleos essenciais de ervas e especiarias como orégano, canela e manjericão têm apresentado atividade antifúngica expressiva. O orégano, por exemplo, contém compostos como timol e carvacrol, que apresentam potente ação antimicrobiana e antioxidante, atuando na desestabilização da membrana celular dos fungos (Rammal et al., 2025). Estudos com extratos da casca de romã, também demonstraram inibição significativa de fungos deteriorantes em carnes e outros produtos perecíveis (Bashir et al., 2022). Além da ação antifúngica, esses compostos conferem proteção antioxidante, mitigando os efeitos da oxidação lipídica que compromete a estabilidade e o valor nutricional dos alimentos (Falleh et al., 2019). A atividade sinérgica entre os efeitos antimicrobianos e antioxidantes amplia seu potencial como conservantes naturais multifuncionais.

Entre as vantagens da utilização de extratos vegetais está seu perfil de segurança elevado, especialmente por muitos serem reconhecidos como GRAS (*Generally Recognized As Safe*), já autorizados em diversos países para uso alimentar (Pinto et al., 2023). Além disso, esses compostos são derivados de fontes renováveis e possuem baixo impacto ambiental, o que os torna compatíveis com as exigências de sustentabilidade da produção alimentícia moderna (Sharma et al., 2019). Outro ponto relevante é a crescente preferência dos consumidores por produtos com rótulos limpos, livres de aditivos artificiais, o que fortalece o apelo mercadológico dos conservantes naturais (Zhang et al., 2022). A funcionalidade adicional desses compostos, como propriedades anti-inflamatórias e imunomoduladoras, abre espaço para o desenvolvimento de alimentos com propriedades funcionais agregadas (Shahbazi et al., 2021).

No entanto, algumas limitações ainda restringem sua ampla adoção industrial. A eficácia dos extratos pode variar conforme a concentração, a composição fitoquímica e a matriz alimentar onde são aplicados. Além disso, compostos fenólicos em doses elevadas podem alterar características sensoriais dos alimentos, como sabor, cor e aroma, o que afeta a aceitação do consumidor (Duque-Soto et al., 2023). A estabilidade dos compostos bioativos durante o armazenamento também é uma preocupação, sobretudo em produtos que exigem prazos de validade prolongados.

Do ponto de vista tecnológico, o processo de extração e padronização dos extratos naturais ainda demanda aprimoramentos para garantir eficiência,

disponibilidade e viabilidade econômica (Rosa; Pintro, 2022). Em relação à regulamentação, a inclusão de novos compostos naturais em alimentos requer avaliação toxicológica, testes de eficácia e autorização pelos órgãos competentes, o que pode tornar o processo burocrático e oneroso para a indústria (Venable LLP, 2025).

Apesar disso, as tendências emergentes sinalizam um futuro promissor. O uso de combinações sinérgicas entre diferentes extratos ou entre extratos e óleos essenciais tem mostrado maior eficácia antifúngica em concentrações reduzidas, diminuindo o impacto sensorial e ampliando a atividade biológica (Tadtong et al., 2025). Além disso, a incorporação de tecnologias como nanoencapsulação vem sendo exploradas para aumentar a estabilidade, controlar a liberação dos compostos e proteger suas propriedades funcionais ao longo do tempo (Liu et al., 2025).

4. MATERIAL E MÉTODOS

A realização do experimento foi estruturada em quatro etapas, distribuídas entre diferentes setores do Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias (CCTA) da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), situada em Campos dos Goytacazes, RJ.

Inicialmente realizou-se o cultivo da espécie vegetal e a elaboração dos extratos aquosos no Setor de Plantas Daninhas e Medicinais, vinculado ao Laboratório de Fitotecnia (LFIT/CCTA). Posteriormente foram realizados os ensaios microbiológicos no Setor de Tecnologia e Desenvolvimento de Produtos (LTA/CCTA), onde os microrganismos foram fornecidos pela Clínica Fitossanitária do Laboratório de Entomologia e Fitopatologia (LEF/CCTA). Por fim, uma análise do perfil químico do extrato aquoso foi realizada no setor de Química de Alimentos (LTA/CCTA).

4.1 Cultivo do material vegetal

O cultivo do material vegetal foi conduzido tanto em casa de vegetação quanto em ambiente de campo, ambos situados na Unidade de Apoio à Pesquisa da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), no município de Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro.

A área experimental situa-se às coordenadas geográficas 21°45' de latitude Sul e 41°17' de longitude Oeste, a uma altitude de 11 metros acima do nível do mar. De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, as condições climáticas predominantes na região são categorizadas como clima tropical com estação seca (Peel; Finlayson; McMahon, 2007).

4.2 Semeadura da espécie *Porophyllum ruderale*

A semeadura da espécie *Porophyllum ruderale* foi conduzida em casa de vegetação pertencente ao Laboratório de Fitotecnia (LFIT) , Setor de Plantas Daninhas e Medicinais da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), no dia 10 de abril de 2024. Para tal, utilizou- se uma bandeja plástica preenchida com substrato composto por húmus de minhoca e solo peneirado, na proporção 1:1 (v/v), previamente homogeneizados. As sementes utilizadas foram coletadas manualmente a partir de uma planta matriz que se desenvolveu de forma espontânea em um canteiro localizado nas proximidades da referida casa de vegetação.

4.3 Transplantio das mudas

Aproximadamente 20 dias após a semeadura, observou-se o desenvolvimento das primeiras folhas verdadeiras, o que indicou o momento adequado para o transplantio das mudas (Figura 6) para tubetes contendo como substrato, uma mistura de solo peneirado, adubo NPK na formulação 4-14-8 e areia, na proporção de 1:1:1 (v/v/v).



Figura 6: Mudas de *Porophyllum ruderale* em tubetes.

Fonte: acervo pessoal.

Após o enraizamento (Figura 7), no mês de junho do ano de 2024, 54 mudas de *Porophyllum ruderale* foram transplantadas (Figura 8) para vasos com capacidade de 5 litros, mantidos em casa de vegetação sob sistema de irrigação automatizado, acionado diariamente. Para o preenchimento dos vasos, utilizou-se um substrato composto por solo peneirado, adubo NPK na formulação 4-14-8 e areia, na proporção 1:1:1 (v/v/v), previamente homogeneizados.



Figura 7: Enraizamento da muda de *Porophyllum ruderale*.

Fonte: acervo pessoal.



Figura 8: Mudas transplantadas em vasos em casa de vegetação.
Fonte: acervo pessoal.

Simultaneamente, aos 20 dias após a germinação, foram transplantadas 56 mudas para um canteiro externo (Figura 9), instalado nas proximidades da casa de vegetação. O canteiro foi previamente preparado com esterco suíno curtido, na proporção aproximada de 70 L/m² quadrado de solo, correspondente ao volume de um carrinho de mão. A irrigação neste ambiente também foi realizada de forma automática, com acionamento diário.



Figura 9: Mudas transplantadas para canteiro externo.
Fonte: acervo pessoal.

4.4 Coleta do material vegetal

As plantas foram colhidas 142 dias após o transplantio no dia 30 de agosto de 2024 às 8 horas. Parte do material vegetal, foi submetido à lavagem com água deionizada para a remoção de impurezas superficiais e, em seguida, utilizado diretamente na produção de extratos. A outra fração do material também foi submetida à lavagem com água deionizada para a remoção de impurezas e permaneceu em bancada por 24 horas para a secagem inicial ao ar. Em seguida, foi destinada à secagem padronizada, sendo disposta em estufa com circulação de ar forçada, à temperatura constante de 40°C, por um período de 48 horas.

4.5 Elaboração dos extratos aquosos

A obtenção dos extratos aquosos de *Porophyllum ruderale* seguiu a metodologia proposta por Abubakar; Haque (2020), com adaptações. Foram utilizadas diferentes partes da planta, tais como raízes, caules, folhas e capítulos florais, tanto em sua forma fresca quanto após o processo de secagem em estufa.

Inicialmente, foram elaborados extratos aquosos a partir de material vegetal fresco, abrangendo raízes (Figura 10A), caules (Figura 10B) e folhas (Figura 10C) separadamente. As amostras foram preparadas manualmente e submetidas ao processo de extração por decocção.



Figura 10: Raízes (A), caules (B) e folhas (C) de *Porophyllum ruderale*.
Fonte: acervo pessoal.

Para o preparo do extrato de raízes, 20 g de tecido fresco foram previamente fragmentados com auxílio de faca e diluídos em 200 mL de água deionizada, obtendo-se uma concentração final de 10% (m/v).

Os extratos de caules e folhas, por sua vez, foram elaborados a partir de 40 g de material vegetal, diluídos em 160 mL do mesmo solvente, o que corresponde a uma concentração de 25% (m/v). Ambos os tecidos vegetais passaram por Trituração prévia em almofariz com pistilo de porcelana, procedimento realizado para potencializar a liberação dos compostos bioativos durante a extração (Alsaad; Farid, 2020).

As misturas foram então submetidas à decocção em chapa de aquecimento, com fervura controlada por aproximadamente 15 minutos. Após esse período, os extratos foram filtrados com algodão disposto em funil e transferidos para frascos Erlenmeyer, devidamente vedados com papel alumínio e fita PVC para evitar contaminações e perdas por evaporação. Em seguida, foram armazenados em congelador a -18°C até o momento da realização dos ensaios antifúngicos.

Extratos aquosos por decocção e infusão utilizando amostras previamente secas também foram preparados. Para isso, folhas, caules e capítulos florais foram submetidos à secagem em estufa com circulação de ar forçada, a 40°C por 48 horas. Após a secagem, as estruturas vegetais foram separadas manualmente, respeitando suas características morfológicas. As folhas e os capítulos florais secos foram triturados separadamente em almofariz com pistilo de porcelana até a obtenção de partículas finas, enquanto os caules foram fragmentados utilizando-se uma faca. O material processado foi acondicionado em frascos de vidro.

A elaboração dos extratos das amostras secas (decocção e infusão) foi realizada utilizando concentração de 25% (m/v), empregando-se para cada amostra 20 g de material vegetal seco e 80 mL de água deionizada.

Para a decocção, os caules e as folhas foram submetidos à fervura por 15 minutos, separadamente. Após o resfriamento, os extratos foram filtrados, armazenados em frascos Erlenmeyer, vedados com papel alumínio e fita PVC, e mantidos a -18°C até o uso nos testes microbiológicos.

Por fim, foram preparados extratos aquosos por infusão utilizando-se, separadamente, folhas secas e capítulos florais secos de *Porophyllum ruderale*. Para o preparo, a água deionizada foi previamente aquecida até o ponto de ebulição e, em seguida, vertida sobre as amostras vegetais, mantidas em recipientes vedados por 15 minutos, com o intuito de favorecer a difusão dos compostos bioativos. Após o resfriamento natural, os extratos foram filtrados em algodão disposto em funil, e os volumes finais foram acondicionados em frascos Erlenmeyer, protegidos com papel-

alumínio e fita PVC. As amostras foram então armazenadas em congelador a -18°C até sua utilização nos ensaios experimentais.

4.6 Ensaios microbiológicos

Os ensaios microbiológicos adotaram duas abordagens distintas para a avaliação do potencial antifúngico dos extratos aquosos de *Porophyllum ruderale*. Inicialmente foi utilizado o método de difusão em meio sólido, com o intuito de verificar qual extrato vegetal apresentaria capacidade inibitória frente ao crescimento do fungo *Aspergillus niger*.

Posteriormente foi conduzido por meio da técnica de difusão em disco, visando testar especificamente a atividade antifúngica do extrato obtido a partir das folhas secas da espécie vegetal, frente às linhagens dos gêneros *Penicillium* sp. e *Aspergillus niger*.

Ambas as metodologias foram executadas em condições de esterilização, conforme os protocolos microbiológicos padronizados, com o intuito de garantir a confiabilidade dos resultados obtidos conforme descrito adiante.

4.6.1 Cultivo dos microrganismos

Os fungos fitopatogênicos *Aspergillus niger* (Figura 11), utilizados neste estudo, foram obtidos junto à Clínica Fitossanitária da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF).

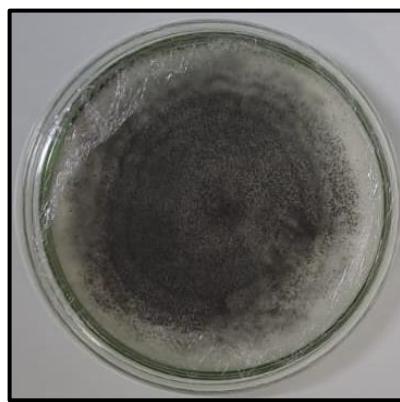


Figura 11: Fungos *Aspergillus niger* em placa de Petri.
Fonte: acervo pessoal.

A metodologia adotada para o cultivo e repicagem dos fungos seguiu as recomendações descritas por Carollo; Santos Filho (2016), com as devidas adaptações.

Para o cultivo das linhagens, utilizou-se o meio de cultura Batata Dextrose Ágar (BDA), conforme as especificações técnicas recomendadas pelo fabricante.

A seguir, a solução foi vertida para um frasco Erlenmeyer, devidamente vedado e submetido à esterilização em autoclave por 15 minutos, sob pressão de 1 atm e temperatura de 120°C. Simultaneamente, seis placas de Petri de 90 mm foram esterilizadas nas mesmas condições, garantindo a assepsia necessária para o vertimento do meio e o subsequente cultivo dos microrganismos.

Após a solidificação do meio de cultura BDA nas placas de Petri, procedeu-se à repicagem dos microrganismos fúngicos, a qual consistiu na transferência asséptica de fragmentos miceliais ativos provenientes das culturas-mãe mantidas em laboratório. A transferência dos microrganismos foi realizada com o auxílio de uma alça de platina esterilizada à incandescência, raspando delicadamente o micélio ativo das culturas-mãe, mantidas em meio BDA, e inoculando no centro das novas placas contendo o mesmo meio de cultura.

As placas inoculadas foram identificadas, vedadas com fita PVC e incubadas em câmara tipo BOD (*Biological Oxygen Demand*), à temperatura constante de 30°C, por um período de sete dias, visando ao desenvolvimento pleno do micélio. Todo o procedimento foi conduzido de acordo com os protocolos microbiológicos padronizados, com o uso de álcool 70%, lamparina e materiais previamente autoclavados, de modo a garantir a confiabilidade e a reproduzibilidade dos dados experimentais.

4.6.2 Método de difusão em meio sólido

Para a execução do ensaio em meio sólido, utilizou-se o meio de cultura BDA, conforme as especificações técnicas recomendadas pelo fabricante. Em seguida, a solução foi transferida para um frasco Erlenmeyer, devidamente vedado e submetido à esterilização em autoclave por 15 minutos, sob pressão de 1 atm e temperatura de 120°C. Paralelamente, vinte e sete placas de Petri com 60 mm de diâmetro foram esterilizadas nas mesmas condições, garantindo a assepsia necessária para o vertimento do meio e o posterior cultivo dos microrganismos.

Após a esterilização, o meio de cultura BDA, ainda em estado líquido, foi distribuído nas placas de Petri estéreis em câmara de fluxo laminar. Em seguida, foram incorporados 0,5 mL dos extratos vegetais previamente preparados, conforme as concentrações estabelecidas para o teste. As placas permaneceram em repouso

sobre superfície nivelada até a completa solidificação do meio.

Os extratos vegetais empregados nesta etapa foram previamente armazenados sob congelamento e, antes do uso, submetidos ao descongelamento natural à temperatura ambiente. As amostras foram obtidas a partir de distintas estruturas da planta *Porophyllum ruderale* e por diferentes métodos de extração: decocto de folhas frescas, decocto de folhas secas, decocto de caules frescos, decocto de caules secos, decocto de raízes frescas, infusão de folhas secas e infusão de capítulos florais secos, descritos anteriormente.

A etapa de inoculação consistiu na deposição asséptica de discos de papel filtro com 6 mm de diâmetro, previamente esterilizados, contendo fragmentos de micélio em fase ativa de crescimento, no centro de cada placa previamente solidificada e suplementada com os extratos vegetais. A finalidade da inoculação foi simular a fase inicial de crescimento fúngico em substrato contendo potenciais substâncias com ação inibitória, permitindo avaliar a influência dos extratos sobre a expansão micelial do fungo *Aspergillus niger*.

Foram empregados dois controles experimentais: o controle negativo, sem adição de extrato (0%), e o controle positivo, contendo 0,1% de sorbato de potássio, conservante utilizado na indústria alimentícia devido à sua ação fungicida. O experimento foi conduzido em triplicata para assegurar a confiabilidade dos dados.

As placas inoculadas foram devidamente identificadas, vedadas com fita de PVC para evitar contaminações e perda de umidade, e incubadas em estufa do tipo BOD, mantida sob temperatura constante de 30°C.

A atividade antifúngica foi avaliada com base na comparação do crescimento micelial das colônias tratadas em relação aos controles, permitindo inferências sobre a eficácia dos extratos vegetais no inibimento do desenvolvimento fúngico.

A metodologia adotada para a execução do ensaio em meio sólido seguiu as recomendações descritas por Carollo; Santos Filho (2016), Nunes et al. (2021) e por Pereira et al. (2022) com as devidas adaptações às particularidades deste estudo.

4.6.3 Método de difusão em disco

Em placas de Petri contendo meio BDA previamente solidificado, os fungos foram inoculados no centro das placas com o auxílio de uma alça de platina estéril. As placas foram destinadas ao isolamento de *Penicillium* sp. e *Aspergillus niger*. Após a inoculação fúngica central, dois discos de papel filtro estéreis (diâmetro de 6 mm)

foram cuidadosamente distribuídos de forma equidistante na periferia de cada placa, de modo a evitar sobreposição das zonas de inibição. Cada disco foi previamente impregnado com 20 µL do extrato aquoso a 25% (m/v) e, em seguida, posicionado com precisão sobre a superfície do meio, utilizando-se pinça estéril.

Os controles experimentais foram realizados em placas separadas. O controle negativo consistiu na aplicação de um disco de papel filtro embebido com 20 µL de água destilada estéril, enquanto o controle positivo foi constituído por um disco impregnado com 20 µL de sorbato de potássio a 0,2%, conservante de reconhecida atividade antifúngica. O experimento foi conduzido em triplicata, a fim de assegurar a confiabilidade dos resultados.

Todas as placas foram incubadas em estufa tipo BOD, sob temperatura constante de 30°C, por um período de sete dias. Durante a incubação, realizou-se o monitoramento do crescimento fúngico, com atenção à formação de halos de inibição ao redor dos discos impregnados com o extrato vegetal e com o sorbato de potássio. As zonas de inibição foram indicativas da atividade antifúngica e comparadas com os controles para avaliação da eficácia relativa do extrato.

O delineamento metodológico foi conduzido com base nas orientações propostas por Carollo; Santos Filho (2016) e Nunes et al. (2021), incorporando modificações pontuais para atender aos objetivos específicos desta pesquisa.

4.7 Análise estatística

A análise estatística dos dados foi realizada no software *Statistica* (versão 7.0), aplicando-se análise de variância (ANOVA) para detecção de diferenças significativas entre as médias, seguida do teste de Tukey, adotando-se nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$). Os tratamentos compreenderam o uso do extrato aquoso a 25% (m/v) das folhas secas de *Porophyllum ruderale* e sorbato de potássio a 2% frente aos fungos *Penicillium* sp. e *Aspergillus niger*, sendo todas as análises conduzidas em triplicata para garantir a reproduzibilidade e a confiabilidade dos resultados.

4.8 Análise do perfil químico do extrato aquoso por CLAE

A análise do perfil químico do extrato aquoso obtido por decocção das folhas secas de *Porophyllum ruderale* foi realizada por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE), com o objetivo de identificar compostos fenólicos potencialmente

responsáveis pela atividade antifúngica observada nos testes microbiológicos. A metodologia utilizada foi baseada nos protocolos descritos por Assis (2014) e Mendes (2016).

As análises foram conduzidas em cromatógrafo líquido de alta eficiência (*HPLC*) da marca Shimadzu, modelo LC-20A, equipado com bombas LC20AD e detector por arranjo de fotodiodos (*PDA* – modelo SPD-M20A). A varredura espectral foi ajustada entre 230 e 400 nm, faixa adequada para a detecção de compostos fenólicos. O volume de injeção foi fixado em 20 µL, e a separação cromatográfica foi realizada em coluna de fase reversa RP-18 (Macherey-Nagel, 5 µm, 4,0 x 250 mm).

A fase móvel consistiu de duas soluções: bomba A com água ultrapura do tipo MiliQ acidificada com ácido fosfórico (pH 3,2) e bomba B com acetonitrila grau HPLC. O fluxo da fase móvel foi mantido constante em 1,0 mL/min, sob temperatura controlada de 35°C.

O programa de eluição seguiu um gradiente linear, com início da corrida com 0% de acetonitrila (bomba B). A concentração de acetonitrila foi então aumentada para 30% aos 5 minutos, 50% aos 10 minutos, 70% aos 15 minutos, 80% aos 20 minutos, 90% aos 25 minutos, atingindo 100% aos 30 minutos. No tempo final (32 minutos), o sistema retornou à condição inicial de 0% de acetonitrila, permitindo a reequilíbrio da coluna.

Para o preparo das amostras, foram medidos 5 mg do extrato obtido por decocção das folhas secas, os quais foram solubilizados em 1 mL da fase móvel (500 µL de água MiliQ acidificada e 500 µL de acetonitrila). As soluções foram filtradas com auxílio de microfiltros descartáveis (*Sartorius®*) acoplados a seringas BD *Plastipak®* e, em seguida, injetadas no sistema cromatográfico.

Padrões analíticos de referência foram utilizados para comparação dos tempos de retenção e dos espectros de absorção das substâncias detectadas, incluindo ácido gálico, ácido p-cumárico e ácido ferúlico.

Em relação à quantificação dos ácidos gálico, p-cumárico e ferúlico, foi realizada a partir das áreas obtidas nos cromatogramas, utilizando-se as equações de calibração previamente determinadas para cada composto, na forma $y = ax+b$, onde y corresponde à área do pico e x à concentração (µg/mL). As concentrações obtidas foram convertidas para conteúdo no extrato seco (µg/g) considerando a massa de amostra utilizada nas análises.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Identificação da espécie

Em 11 de março de 2025, foi confeccionada uma exsicata representativa da espécie, registrada sob o número de tombo HUENF 14886 no Herbário da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), como forma de autenticação botânica da amostra estudada.

5.2 Extratos aquosos de *Porophyllum ruderale*

Os extratos aquosos obtidos após decocção e infusão das diferentes partes de *Porophyllum ruderale* são apresentados na Figura 12.

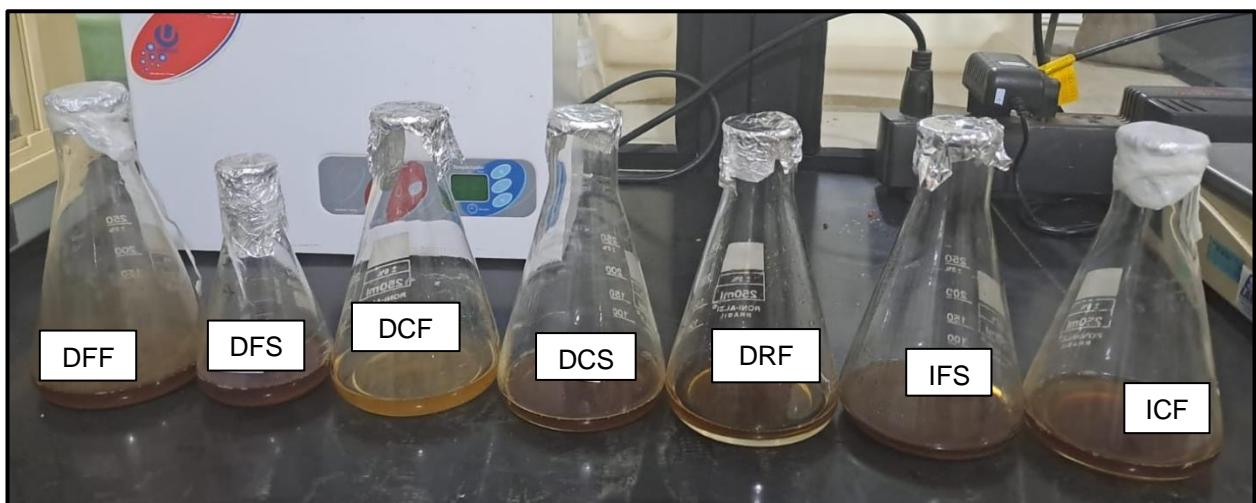


Figura 12: Extratos aquosos de *Porophyllum ruderale*. DFF: decocto de folhas frescas; DFS: decocto de folhas secas; DCF: decocto de caules frescos; DCS: decocto de caules secos; DRF: decocto de raízes frescas; IFS: infusão de folhas secas; e ICP: infusão de capítulos florais.

Fonte: acervo pessoal.

5.3 Ensaio microbiológico do método de difusão em meio sólido

No ensaio microbiológico por difusão em meio sólido, o controle negativo (Figura 13), contendo apenas o meio BDA e o fungo *Aspergillus niger* em placa de Petri, foi possível observar o crescimento micelial uniforme e denso, confirmando a viabilidade do microrganismo e permitindo a interpretação dos efeitos comparativos e qualitativos dos extratos.

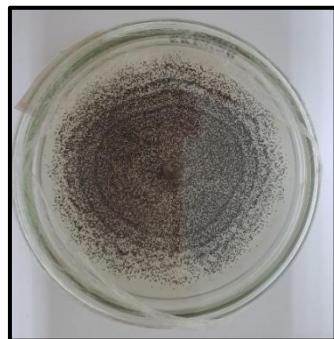


Figura 13: Controle negativo de crescimento fúngico.
Fonte: acervo pessoal.

No controle positivo (Figura 14A), com placa de Petri contendo o conservante sintético sorbato de potássio, foi possível observar a expansão radial do micélio, evidenciando halo de inibição, servindo como parâmetro para comparação da eficácia dos extratos naturais.

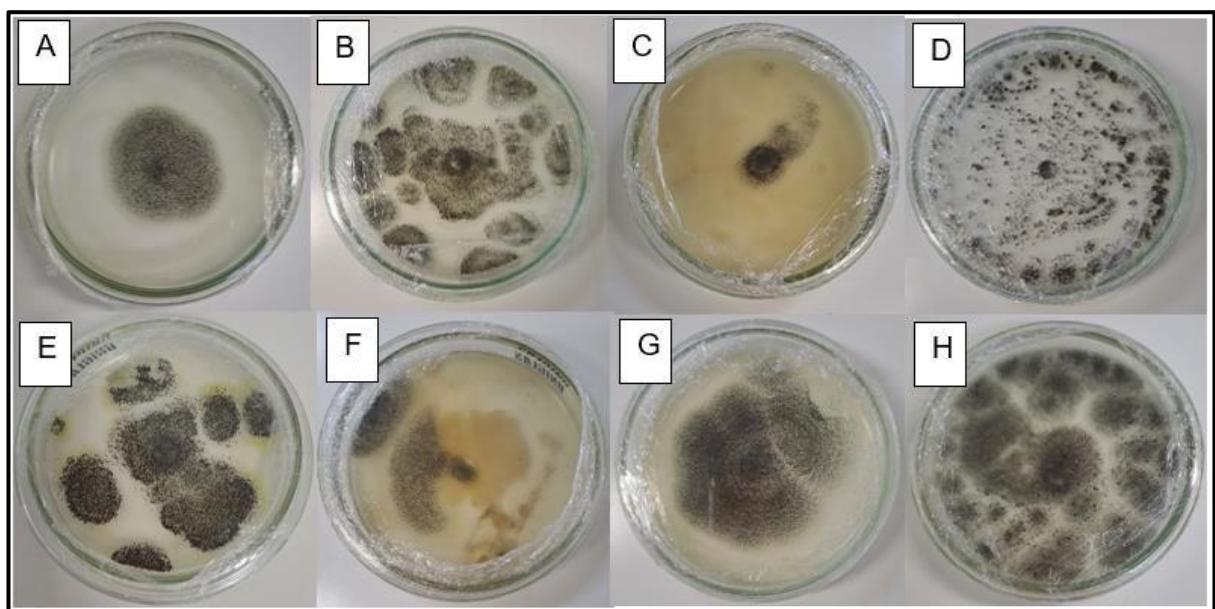


Figura 14: Aspecto das culturas de *Aspergillus niger* após sete dias de incubação com diferentes tratamentos. Placas de Petri contendo meio BDA inoculado com *Aspergillus niger*. A: controle positivo (sorbato de potássio); B: decocção de folhas frescas; C: decocção de folhas secas; D: decocção de caules frescos; E: decocção de caules secos; F: infusão de folhas secas; G: infusão de capítulos florais secos; e H: decocção de raízes frescas.
Fonte: acervo pessoal.

A Figura 14B, correspondente ao extrato aquoso por decocção de folhas frescas, apresentou crescimento micelial expressivo, com colônias negras de conídios fragmentadas e múltiplos centros de crescimento, sugerindo ausência de inibição e possível estímulo à esporulação. Já na Figura 14C, referente ao extrato de folhas

secas (25%, decocção), observa-se crescimento micelial pequeno, com área colonizada significativamente inferior ao controle positivo (14A) e ao controle negativo (Figura 13). Este resultado qualitativo indica atividade antifúngica efetiva, com inibição parcial a total, sendo este um dos extratos mais promissores observados no experimento.

Esses achados reforçam evidências da literatura, segundo as quais o método de extração exerce influência direta sobre a composição química dos extratos. De acordo com Basilio-Cortes et al. (2023), o tempo de preparo e a temperatura empregados no processo extractivo afetam a solubilização e difusão dos metabólitos bioativos, como compostos fenólicos, taninos e terpenoides, no meio aquoso. Assim, a superioridade do decocto em relação à infusão, observada na comparação entre as Figuras 14C e 14F (ambas referentes a folhas secas), pode ser explicada pela maior eficiência térmica na extração desses metabólitos. Resultados semelhantes foram relatados por Martins et al (2015) em estudo com *Thymus vulgaris*, no qual a decocção apresentou teores mais elevados de compostos fenólicos e flavonoides em comparação à infusão, correlacionando-se com maior atividade antioxidante e antimicrobiana.

A Figura 14D, representando o extrato de caules frescos (decocção), demonstrou crescimento micelial difuso e denso, indicando ausência de efeito inibitório. De modo semelhante, a Figura 14E (caules secos por decocção) também não evidenciou inibição, com colônias extensas e vigorosas. A Figura 14H, que corresponde ao extrato de raízes frescas a 10% (decocção), apresentou desenvolvimento micelial sem alterações visíveis em relação ao controle negativo (Figura 13), sendo considerado inativo frente ao patógeno nas condições avaliadas.

Esses resultados reforçam a importância da parte vegetal utilizada no preparo dos extratos. A análise comparativa entre os diferentes órgãos de *Porophyllum ruderale* evidencia que folhas, sobretudo quando secas e submetidas à decocção, concentram metabólitos com atividade antifúngica relevante. Por outro lado, caules e raízes não apresentaram efeito inibitório detectável, o que corrobora com estudos histoquímicos realizados por Fonseca; Meira; Casali (2006), que identificaram os ductos foliares como os principais sítios de acúmulo de compostos fenólicos e lipídicos, ao passo que estruturas como raízes e caules exibem concentrações reduzidas desses metabólitos, especialmente em tecidos mais maduros.

No que se refere à infusão, a Figura 14F (folhas secas) demonstrou inibição

parcial do crescimento de *Aspergillus niger*, com micélio mais esparso e colônia central menos densa, indicando presença de atividade antifúngica, embora de intensidade inferior à observada na decocção da mesma parte vegetal (Figura 14C). Por sua vez, a Figura 15G, correspondente ao extrato infundido de capítulos florais secos, evidenciou colônia fúngica extensa, com alta densidade micelial, caracterizando ausência de inibição.

Considerando os dados obtidos, destaca-se que apenas o extrato de folhas secas submetidas à decocção demonstrou atividade antifúngica expressiva, superando inclusive a infusão da mesma parte da planta.

Esses achados reforçam que a eficácia antifúngica dos extratos vegetais está condicionada a uma combinação de fatores, como o estado do material vegetal (seco ou fresco), a parte da planta utilizada e o método de extração empregado. Embora estudos anteriores tenham destacado o potencial biológico de *Porophyllum ruderale*, ainda são escassas as investigações que realizam comparações sistemáticas entre diferentes estruturas morfológicas e modos de preparo. Neste contexto, os resultados obtidos sugerem que a decocção de folhas secas constitui a estratégia mais eficiente para obtenção de extratos com atividade antifúngica relevante, sendo uma possível alternativa para o desenvolvimento de produtos conservantes naturais de origem vegetal.

5.4 Ensaio microbiológico do método de difusão em disco

Após a aplicação da metodologia de difusão em meio sólido, procedeu-se à avaliação do potencial antifúngico do extrato aquoso por decocção das folhas secas de *Porophyllum ruderale* (25%), utilizando o método de difusão em disco, testado contra os fungos *Penicillium* sp. (Figura 15) e *Aspergillus niger* (Figura 16). A análise visual das placas permitiu observar e medir o halo de inibição formado ao redor dos discos impregnados com o extrato e com o conservante sorbato de potássio, possibilitando a quantificação das zonas de inibição para ambos os microrganismos estudados.

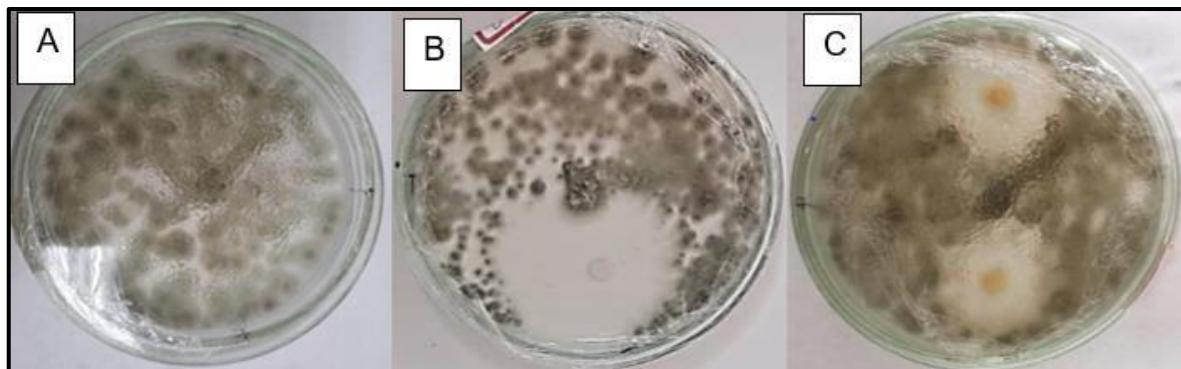


Figura 15: Ensaio de difusão em disco com extrato de folhas secas de *Porophyllum ruderale* frente a *Penicillium* sp. Placas de Petri contendo meio BDA inoculado com *Penicillium* sp. A: controle negativo de crescimento fúngico; B: controle positivo com sorbato de potássio; e C: decocção de folhas secas.

Fonte: acervo pessoal.

Na Figura 15, observa-se o crescimento do *Penicillium* sp. nas diferentes condições experimentais. Na placa 15A (controle negativo), nota-se crescimento fúngico abundante e homogêneo, recobrindo toda a superfície do meio BDA, indicando ausência de inibição. Na placa 15B (controle positivo, sorbato de potássio 2%), verifica-se uma área central clara, correspondente a um halo de inibição bem definido, evidenciando forte ação antifúngica do conservante sintético. Já na placa 15C (extrato obtido por decocção das folhas secas), nota-se um halo de inibição visível ao redor dos discos impregnados, embora menor que o do controle positivo, confirmando atividade antifúngica moderada do extrato frente ao *Penicillium* sp..

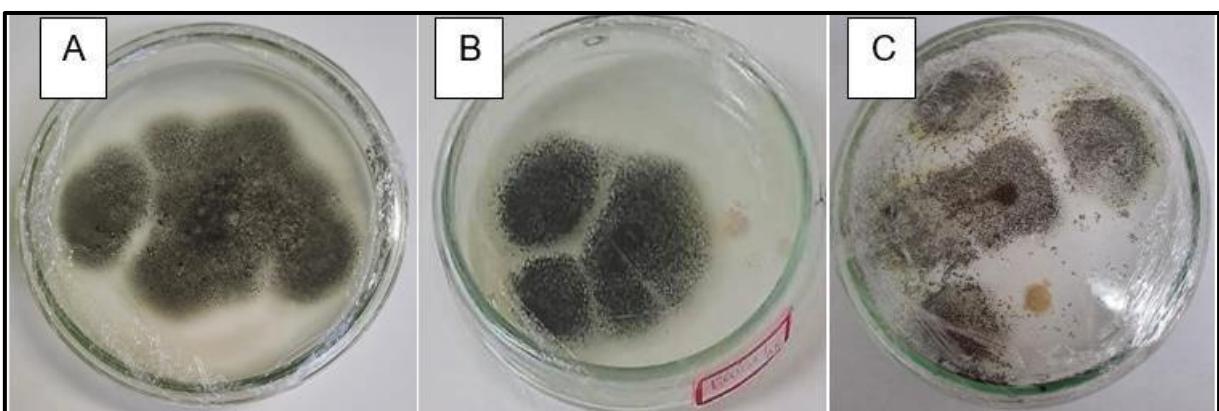


Figura 16: Ensaio de difusão em disco com extrato de folhas secas de *Porophyllum ruderale* frente a *Aspergillus niger*. Placas de Petri contendo meio BDA inoculado com *Penicillium* sp. A: controle negativo de crescimento fúngico; B: controle positivo com sorbato de potássio; C: decocção de folhas secas.

Fonte: acervo pessoal.

Resultados semelhantes foram observados por El-Samawaty et al. (2021), que

relataram significativa inibição do crescimento de *Penicillium* spp. por extratos vegetais ricos em compostos fenólicos, como os obtidos de *Cinnamomum zeylanicum* (canela) e *Syzygium aromaticum* (cravo-da-índia). No entanto, a intensidade da resposta variou conforme a espécie e a concentração do extrato, evidenciando que a eficácia antifúngica está diretamente relacionada à disponibilidade dos metabólitos ativos.

Na Figura 16 observa-se o padrão de crescimento de *Aspergillus niger* frente aos diferentes tratamentos testados. No controle negativo (16A), o fungo apresentou crescimento denso, recobrindo a maior parte da superfície do meio BDA. O resultado confirma a viabilidade do microrganismo na ausência de agentes inibitórios.

No controle positivo (16B), contendo sorbato de potássio a 2%, observa-se um halo de inibição ao redor do disco, com nítida redução da esporulação na área mais próxima ao agente químico. No entanto, a área afetada é relativamente estreita, limitando-se às proximidades imediatas do disco. Em comparação, o tratamento com o extrato (16C) apresentou um halo mais amplo, evidenciando que, embora o conservante seja eficaz na inibição do crescimento, sua ação se restringe a uma faixa menor, ao passo que o extrato exerce efeito inibitório sobre uma área mais extensa do meio de cultura.

Resultados distintos foram observados no estudo realizado com o extrato aquoso de *Mimosa pudica* frente ao fungo *Aspergillus niger*, no qual o halo de inibição variou entre $7,0 \pm 0,8$ mm e $8,0 \pm 0,3$ mm, mesmo com o aumento da concentração do extrato, enquanto o controle positivo, contendo itraconazol, apresentou halo de $19,0 \pm 0,7$ mm. Essa baixa atividade antifúngica foi atribuída à menor disponibilidade de compostos bioativos hidrossolúveis, visto que solventes orgânicos tendem a extrair maior quantidade de metabólitos secundários de natureza antifúngica (Vijayalakshmi; Krishnamurthy; Rajangam, 2018). Assim, os resultados obtidos com *Porophyllum ruderale* diferem positivamente, indicando que, mesmo em meio aquoso, a espécie libera compostos com potencial inibitório frente a *Aspergillus niger*, demonstrando a presença de substâncias ativas capazes de interferir de modo significativo no crescimento e na esporulação do fungo.

De acordo com Hosee; Farhan; Shaban (2025), as plantas medicinais constituem fontes ricas em metabólitos secundários com reconhecido potencial antifúngico, entre os quais se destacam os fenóis, alcaloides, terpenoides e fitosteróis. Esses compostos atuam de forma sinérgica sobre diferentes estruturas e processos

celulares dos microrganismos, promovendo a inibição do crescimento fúngico e reduzindo a probabilidade de resistência.

5.5 Análise estatística dos halos de inibição pelo método de difusão em disco

Para a análise estatística dos halos de inibição obtidos pelo método de difusão em disco, foram consideradas as medidas individuais registradas para cada tratamento/ microrganismo. No caso de *Penicillium*, o extrato apresentou halos de 26,3 mm, 27,1 mm e 29,1 mm, enquanto o sorbato de potássio (2%) apresentou 46,4 mm, 46,6 mm e 47,0 mm. Para *Aspergillus niger*, o extrato resultou em halos de 38,6 mm, 38,2 mm e 40,1 mm, e o sorbato de potássio (2%) apresentou 22,0 mm, 22,4 mm e 23,1 mm.

A Tabela 2 apresenta as médias dos halos de inibição (mm), com seus respectivos desvios-padrão e as letras indicativas do teste de Tukey para comparação múltipla. A análise estatística confirmou diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre os tratamentos para ambos os fungos avaliados. Para *Penicillium*, o sorbato de potássio ($46,67 \pm 0,31$ mm) foi significativamente mais eficiente que o extrato ($27,50 \pm 1,44$ mm). Em contraste, para *Aspergillus niger*, o extrato ($38,97 \pm 1,00$ mm) apresentou maior efeito antifúngico do que o sorbato ($22,50 \pm 0,56$ mm).

Tabela 2: Médias e desvios-padrão dos diâmetros dos halos de inibição (mm) obtidos no ensaio microbiológico pelo método de difusão em disco, para diferentes microrganismos.

Microrganismo	Tratamento	Halo de inibição (mm) ± DP
<i>Penicillium</i>	Sorbato 2%	$46,67 \pm 0,31^a$
<i>Aspergillus niger</i>	Extrato	$38,97 \pm 1,00^b$
<i>Penicillium</i>	Extrato	$27,50 \pm 1,44^c$
<i>Aspergillus niger</i>	Sorbato 2%	$22,50 \pm 0,56^d$

Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

A partir dos dados da tabela, é possível observar que o extrato vegetal demonstrou um efeito antifúngico mais expressivo contra *Aspergillus niger* do que o sorbato de potássio, evidenciado pelos maiores halos de inibição. Esses resultados indicam que o extrato é capaz de inibir o crescimento desse fungo.

Embora, para *Penicillium* sp., o sorbato de potássio tenha produzido halos de

maior diâmetro, o valor médio de 27,50 mm obtido para o extrato vegetal situa-se dentro da faixa considerada indicativa de atividade antifúngica relevante para extratos vegetais, conforme apontado por Hernández et al. (2022), que classificam halos entre 10 e 30 mm como compatíveis com aplicações bioprotetoras. Esse desempenho está em consonância com as observações de Maj et al. (2024), segundo as quais compostos fenólicos e flavonoides extraídos por métodos térmicos tendem a produzir halos menores do que os obtidos por compostos sintéticos, mas apresentam eficácia suficiente para uso como conservantes naturais.

A ação antifúngica observada pode ser atribuída à presença de compostos fenólicos solúveis em água, capazes de desestabilizar a membrana celular fúngica, modificando sua permeabilidade, ocasionando perda de metabólitos essenciais e comprometendo a viabilidade do microrganismo (El-Desouky, 2021; Chtioui et al., 2023). Ressalta-se, ainda, que se trata de uma planta classificada como PANC (Planta Alimentícia Não Convencional) e Medicinal, sem efeitos tóxicos comprovados até o momento (Vázquez-Atanacio et al., 2022), o que amplia seu potencial de uso seguro e sustentável como alternativa natural em estratégias de conservação de alimentos e controle microbiano.

5.6 Perfil químico por CLAE

A caracterização do perfil químico do extrato aquoso de *Porophyllum ruderale*, obtido por decocção das folhas secas a 25% (m/v), foi realizada por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE), com detecção a 254 nm. A Figura 17 apresenta o cromatograma obtido, no qual foram detectados três picos principais, com tempos de retenção e espectros UV-Vis característicos de compostos fenólicos.

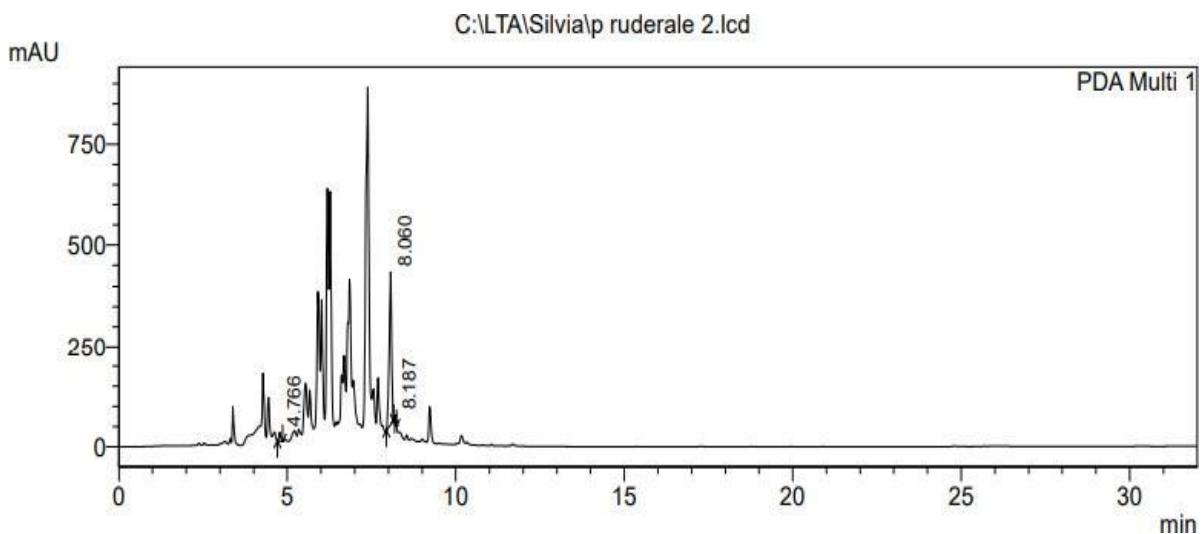


Figura 17. Cromatograma do extrato aquoso das folhas secas de *Porophyllum ruderale*.

A identificação dos compostos foi baseada na comparação dos tempos de retenção e nos máximos de absorção ($\lambda_{\text{máx}}$) (Tabela 3) com dados de padrões comerciais. Assim, foi possível associar os picos cromatográficos (Figura 18) aos seguintes ácidos fenólicos: ácido gálico (pico 1), ácido p-cumárico (pico 2) e ácido ferúlico (pico 3). Essa atribuição foi corroborada pelos espectros de absorção UV-Vis de cada pico, os quais exibiram bandas típicas de sistemas aromáticos conjugados, com absorções variando entre 200 e 338 nm (Davidson et al., 2022; Santos et al., 2023; Yilmazer et al., 2025).

Tabela 3: Dados cromatográficos e espetrais dos ácidos fenólicos identificados no extrato aquoso de *Porophyllum ruderale*.

Pico	Composto	Tempo de Retenção (min)	Área Relativa	$\lambda_{\text{máx}}$ (nm)
1	Ácido gálico	4,767	3,313	200 - 324
2	Ácido p-cumárico	8,071	95,298	203 - 338
3	Ácido ferúlico	8,195	1,289	201 - 328

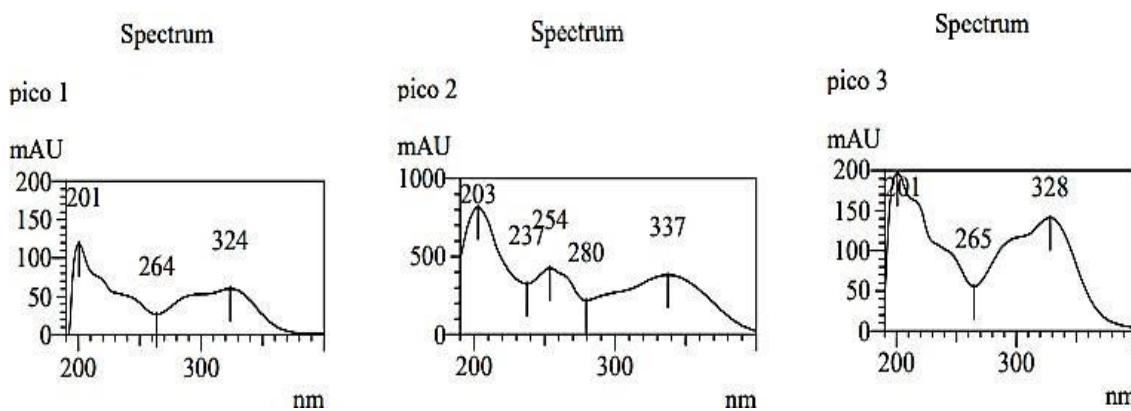


Figura 18: Picos cromatográficos: ácido gálico (1), ácido p-cumárico (2) e ácido ferúlico (3).

O composto majoritário do extrato foi o ácido p-cumárico, com tempo de retenção de 8,071 minutos e área correspondente a 95,29% do total detectado, indicando sua elevada concentração na matriz vegetal analisada. O ácido gálico foi detectado no tempo de retenção de 4,76 minutos, com área relativa de 4,37%, e o ácido ferúlico, em menor proporção (1,38%), foi identificado no tempo de 8,19 minutos. Os espectros de absorção desses compostos estão em concordância com padrões previamente descritos para essas moléculas, reconhecidas por suas estruturas aromáticas conjugadas e atividade bioativa (Harborne, 1989; Mira et al., 2008; Viana, 2008).

Esses resultados confirmam a presença de compostos fenólicos bioativos no extrato aquoso de *Porophyllum ruderale*, cuja predominância do ácido p-cumárico pode estar diretamente associada à atividade antioxidante (Heredia et al., 2021; Venâncio, 2021) e antimicrobiana (Venâncio, 2021) relatada para a espécie. Além disso, a presença dos outros dois ácidos, mesmo em menores proporções, é relevante, visto que diferentes fenólicos podem atuar de forma sinérgica, ampliando o potencial biológico do extrato. Por exemplo, misturas de ácido gálico com outros fenólicos extraídos de resíduos de azeitona demonstraram eficácia antimicrobiana significativamente maior do que os compostos isolados (Tafesh et al., 2011).

5.7 Quantificação dos ácidos fenólicos

Para a quantificação dos compostos fenólicos foi utilizada a equação $y=6387,6x + 3719,5$ para o ácido gálico, a equação $y=20170x - 27456$ para o ácido p-cumárico e a equação $y=32368x+307,09$ para o ácido ferúlico. A Figura 19 apresenta o gráfico da concentração dos compostos fenólicos identificados no extrato aquoso por decocção das folhas secas de *Porophyllum ruderale*.

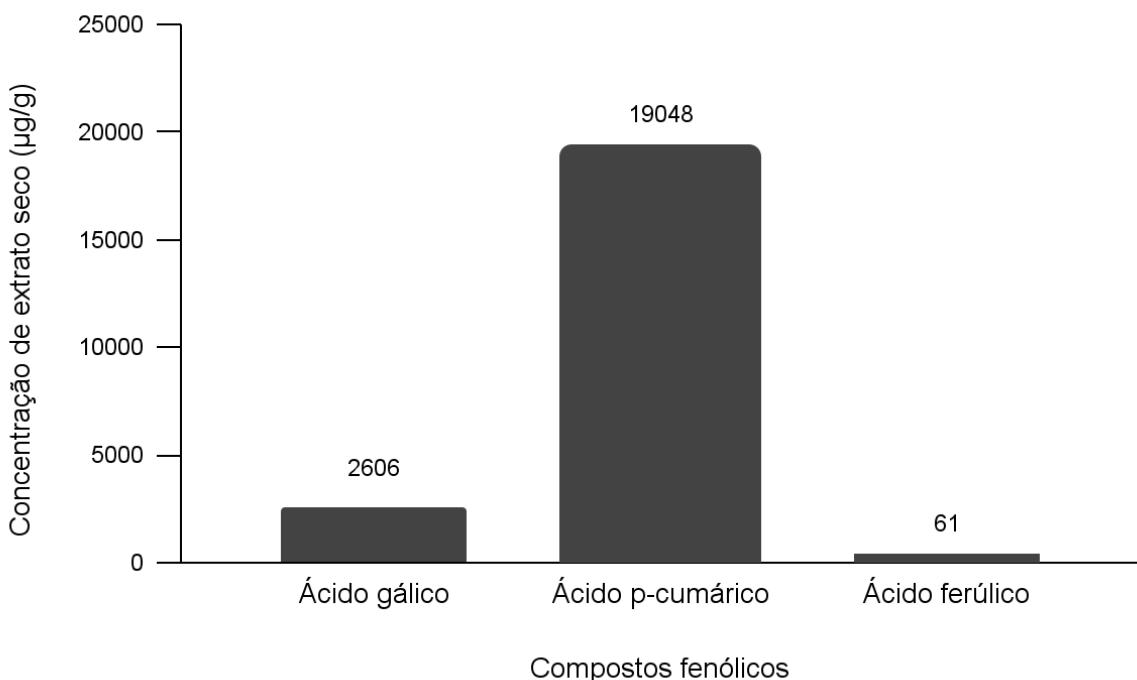


Figura 19. Concentração dos compostos fenólicos identificados no extrato aquoso por decocção das folhas secas de *Porophyllum ruderale* em uma grama de extrato seco.

O estudo da quantificação dos ácidos fenólicos presentes no extrato, revela aspectos importantes sobre a composição química e o potencial bioativo dessa matriz vegetal. Entre os compostos analisados, o p-cumárico, um ácido hidroxicinâmico, destacou-se como o componente predominante, com uma concentração expressiva de 19048 µg/g de extrato seco, o que sinaliza sua importância relativa no conjunto de fenólicos presentes. Tal predominância pode refletir características específicas da planta estudada, bem como condições do processo de extração que favorecem a recuperação deste composto. Em estudos envolvendo as PANCs *Basella rubra* e *Basella alba*, os extratos aquosos apresentaram teores de p-cumárico de $59,65 \pm 1,49$ µg/g, relacionando-os a elevada atividade antioxidante (Kumar et al., 2018).

Além disso, o ácido p-cumárico tem sido relatado por exercer atividade antifúngica, atuando no comprometimento da integridade da membrana celular de fungos, o que sugere sua contribuição para o efeito antifúngico observado nos extratos (Morales; Mendoza; Cotoras, 2017).

Por sua vez, o ácido gálico, pertencente ao grupo dos ácidos hidroxibenzóicos, embora menos abundante que o p-cumárico, apresentou teor significativo de 2606 µg/g, valor compatível com os reportados para outras espécies ricas em compostos fenólicos. Esse resultado corrobora sua relevância funcional e antioxidante. Um

exemplo recente inclui *Labisia pumila*, cujos extratos aquosos apresentaram elevada concentração de ácido gálico, correlacionando-se diretamente com maior atividade antioxidante e anti-inflamatória (Awang et al., 2023). Estudos demonstraram que o ácido gálico exerceu ação antifúngica significativa contra *Candida auris* (Akhtar et al., 2023) e *Candida albicans* induzindo a morte do fungo por apoptose (Liberato et al., 2022). A presença deste composto nos extratos pode, portanto, contribuir diretamente para a atividade antifúngica contra os fungos patogênicos testados.

Já o ácido ferúlico, mesmo aparecendo em menor concentração, de 61 µg/g, merece destaque por sua estabilidade estrutural e possível maior retenção na matriz sólida durante a extração. Essa característica pode indicar um papel específico desse composto na fisiologia da planta ou na eficácia do extrato frente a aplicações potenciais. Ademais, estudos indicam que o ácido ferúlico exerce potente atividade antifúngica contra patógenos como *Fusarium graminearum*, inibindo o crescimento micelial e reduzindo a produção de micotoxinas, sugerindo que mesmo em baixas concentrações ele pode contribuir para o efeito antifúngico global do extrato (Yan et al., 2023).

6. CONCLUSÕES

O presente estudo demonstrou que o extrato aquoso de folhas secas de *Porophyllum ruderale*, obtido por decocção a 25%, possui atividade antifúngica contra *Aspergillus niger* e *Penicillium* sp.. A inibição observada tanto na redução do crescimento micelial quanto na formação de halos de inibição confirma o potencial do extrato vegetal como agente antifúngico, ainda que sua ação seja menos intensa quando comparada ao conservante sintético sorbato de potássio. Destaca-se a importância da utilização de uma planta Planta Alimentícia Não Convencional (PANC), sem efeitos tóxicos comprovados, e o uso de métodos de extração simples e sustentáveis. A análise química por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência permitiu identificar, com base nos tempos de retenção e nos espectros de absorção UV-Vis, a presença dos ácidos fenólicos gálico, p-cumárico e ferúlico, compostos reconhecidamente bioativos e compatíveis com o efeito observado. Assim, conclui-se que o extrato aquoso de folhas secas de *Porophyllum ruderale* apresenta-se como uma fonte promissora de compostos naturais com ação antifúngica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abd-Elhakim, Y. M., Behairy, A., Hashem, M. M., Abo-EL-Sooud, K., El-Metwally, A. E., Hassan, B. A., & Ali, H. A. (2023) Toll-like receptors and nuclear factor kappa B signaling pathway involvement in hepatorenal oxidative damage induced by some food preservatives in rats. *Scientific Reports*, 13(1):5938. DOI: [10.1038/s41598-023-32887-9](https://doi.org/10.1038/s41598-023-32887-9)
- Abubakar, A. R., Haque, M. (2020) Preparation of medicinal plants: Basic extraction and fractionation procedures for experimental purposes. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 12(1):1–10. DOI: [10.4103/jpbs.jpbs_175_19](https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_175_19)
- Agência Nacional de Vigilância Sanitária. (2023) Instrução Normativa nº 211, de 1º de março de 2023. Diário Oficial da União, Seção 1. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-in-n-211-de-1->. Acesso em 11 de nov de 2025.
- Akhtar, N., Mannan, M. A., Pandey, D., Sarkar, A., Sharma, H., Kumar, M., Ghosh, A. (2023) Potent antifungal properties of gallic acid in *Sarcoclamys pulcherrima* against *Candida auris*. *Biotechnology*, 104(2):105–119. DOI: [10.5114/bta.2023.127202](https://doi.org/10.5114/bta.2023.127202)
- Alam, M. W., Kumar, J. V., Awad, M., Saravanan, P., Al-Sowayan, N. S., Rosaiah, P., & Nivetha, M. S. (2025) Emerging trends in food process engineering: integrating sensing technologies for health, sustainability, and consumer preferences. *Journal of Food Process Engineering*, 48(1):e70035. DOI: [10.1111/jfpe.70035](https://doi.org/10.1111/jfpe.70035)
- Alamgir, A. N. M. (2018) Secondary metabolites: Secondary metabolic products consisting of C and H; C, H, and O; N, S, and P elements; and O/N heterocycles. In Therapeutic use of medicinal plants and their extracts: volume 2: phytochemistry and bioactive compounds. Cham: Springer International Publishing. p. 165-309. DOI: [10.1007/978-3-319-92387-1_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-92387-1_3)
- Alsaud, N., Farid, M. (2020) Insight into the Influence of Grinding on the Extraction Efficiency of Selected Bioactive Compounds from Various Plant Leaves. *Applied Sciences*, 10(18):6362. DOI: [10.3390/app10186362](https://doi.org/10.3390/app10186362)
- Arias-Rico, J., Macías-León, F. J., Alanís-García, E., Cruz-Cansino, N. d. S., Jaramillo-Morales, O. A., Barrera-Gálvez, R., Ramírez-Moreno, E. (2020) Study of Edible Plants: Effects of Boiling on Nutritional, Antioxidant, and Physicochemical Properties. *Foods*, 9(5):599. DOI: [10.3390/foods9050599](https://doi.org/10.3390/foods9050599)
- Assis, M. L. V. (2014) Determinação do potencial antioxidante e quantificação de compostos fenólicos por CLAE em acessos de *Capsicum baccatum* var. *pendulum*. Dissertação. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 117p.
- Athayde, A. E. de, Araujo, C.E.S de., Sandjo, L.P., Biavatti, M. W. (2024) UPLC-ESI-QToF-MS Metabolomics Comparison Between Wild and Cultivated *Porophyllum ruderale*, a Non-conventional Edible Plant. *Rev. Bras. Farmacogn.* 34:750–757. DOI: [10.1007/s43450-024-00521-y](https://doi.org/10.1007/s43450-024-00521-y)
- Awad, A. M., Kumar, P., Ismail-Fitry, M. R., Jusoh, S., Ab Aziz, M. F., Sazili, A. Q.

(2022) Overview of plant extracts as natural preservatives in meat. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(7):e16796. DOI: [10.1111/jfpp.16796](https://doi.org/10.1111/jfpp.16796)

Awang, M. A., Benjamin, M. A. Z., Anuar, A., Ismail, M. F., Ramaiya, S. D., & Mohd Hashim, S. N. A. (2023) Dataset of gallic acid quantification and their antioxidant and anti-inflammatory activities of different solvent extractions from Kacip Fatimah (*Labisia pumila* Benth. & Hook. f.) leaves. *Data in brief*, 51:109644. DOI: [10.1016/j.dib.2023.109644](https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109644)

Basilio-Cortes, U. A., Tzintzun-Camacho, O., Grimaldo-Juárez, O., Durán- Hernández, D., Suarez-Vargas, A., Durán, C. C., Salazar-Navarro, A., González-Anguiano, L. A., & González-Mendoza, D. (2023) Impact of Temperature on the Bioactive Compound Content of Aqueous Extracts of *Humulus lupulus* L. with Different Alpha and Beta Acid Content: A New Potential Antifungal Alternative. *Microbiology Research*, 14(1):205-217. DOI: [10.3390/microbiolres14010017](https://doi.org/10.3390/microbiolres14010017)

Bashir, S., Arshad, M. S., Khalid, W., Nayik, G. A., Al Obaid, S., Ansari, M. J., Moreno, A., Karabagias, I. K. (2022) Effect of Antimicrobial and Antioxidant Rich Pomegranate Peel Based Edible Coatings on Quality and Functional Properties of Chicken Nuggets. *Molecules*, 27(14):4500. DOI: [10.3390/molecules27144500](https://doi.org/10.3390/molecules27144500)

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 211, de 1º de março de 2023. Estabelece os padrões microbiológicos para alimentos. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 02 mar. 2023. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-in-n-211-de-1-de-marco-de-2023-468509746>. Acesso em 11 de nov de 2025.

Cabral, L. Da C., Pinto, V. F., Patriarca, A. (2013) Application of plant derived compounds to control fungal spoilage and mycotoxin production in foods. *International Journal of Food Microbiology*, 166(1):1-14. DOI: [10.1016/j.ijfoodmicro.2013.05.026](https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.05.026)

Câmara, J. S., Albuquerque, B. R., Aguiar, J., Corrêa, R. C. G., Gonçalves, J. L., Granato, D., Pereira, J. A. M., Barros, L., Ferreira, I. C. F. R. (2021) Food Bioactive Compounds and Emerging Techniques for Their Extraction: Polyphenols as a Case Study. *Foods*, 10(1):37. DOI: [10.3390/foods10010037](https://doi.org/10.3390/foods10010037)

Carollo, E. M., Santos Filho, H. P. (2016) Manual básico de técnicas fitopatológicas: Laboratório de Fitopatologia. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1054670> Acesso em 11 de nov 2025.

Chiotta, M. L., Fumero, M. V., Cendoya, E., Palazzini, J. M., Alaniz-Zanon, M. S., Ramirez, M. L., & Chulze, S. N. (2020) Toxigenic fungal species and natural occurrence of mycotoxins in crops harvested in Argentina. *Revista Argentina de Microbiología*, 52(4):339-347. DOI: [10.1016/j.ram.2020.06.002](https://doi.org/10.1016/j.ram.2020.06.002)

Chtioui, W., Heleno, S., Micheli, Q., Rodrigues, P. (2023) Plant extracts as biocontrol agents against *Aspergillus carbonarius* growth and ochratoxin A production in grapes. *International Journal of Food Microbiology*, 407:110425. DOI: [10.1016/j.ijfoodmicro.2023.110425](https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2023.110425)

Conde-Hernández, L. A., Guerrero-Beltrán, J. Á. (2014) Total phenolics and antioxidant activity of *Piper auritum* and *Porophyllum ruderale*. Food Chemistry, 142:455–460. DOI: [10.1016/j.foodchem.2013.07.078](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.078)

Cosme, F., Aires, A., Pinto, T., Oliveira, I., Vilela, A., Gonçalves, B. (2025) A Comprehensive Review of Bioactive Tannins in Foods and Beverages: Functional Properties, Health Benefits, and Sensory Qualities. Molecules (Basel, Switzerland), 30(4):800. DOI: [10.3390/molecules30040800](https://doi.org/10.3390/molecules30040800)

Cunha, M. C. da, Paula, B. M. D. (2023) Aditivos alimentares e o impacto sobre a microbiota intestinal humana e seus efeitos sobre a saúde. Revista Interfaces: Saúde, Humanas e Tecnologia, 11(4):3079–3091. DOI: [10.16891/2317-434X.v11.e3.a2023.pp3079-3091](https://doi.org/10.16891/2317-434X.v11.e3.a2023.pp3079-3091)

Damani, Z., Topi, D. (2022) Application of plant extracts in the food and pharmaceutical industry. Novel Techniques in Nutrition & Food Science, 6(4):590–593. DOI: [10.31031/NTNF.2022.06.000644](https://doi.org/10.31031/NTNF.2022.06.000644)

Dammak, I., Sobral, P. J. D. A., Aquino, A., Das Neves, M. A., Conte-Junior, C. A. (2020) Nanoemulsions: Using emulsifiers from natural sources replacing synthetic ones. A review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 19(6):2721–2746. DOI: [10.1111/1541-4337.12606](https://doi.org/10.1111/1541-4337.12606)

Davidson, P. M., Taylor, T. M., Schmidt, S. E. (2022) Phenolic compounds: Structure, reactivity, and UV–Vis absorption behavior in food systems. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 70(12):3574–3583. DOI: [10.1021/acs.jafc.1c07701](https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c07701)

Dilkin, E. R. da S., Matias, R., Oliveira, A. K. M. de, Corrêa, B. O. (2022) Potencial de uso de plantas daninhas de áreas agrícolas e de pastagens do cerrado em Mato Grosso do Sul / Potential for use of weeds in agricultural areas and pastures of the cerrado in Mato Grosso do Sul. Brazilian Journal of Development, 8(4):31534–31539. DOI: [10.34117/bjdv8n4-572](https://doi.org/10.34117/bjdv8n4-572)

Dong, H., Xu, Y., Zhang, Q., Li, H., Chen, L. (2024) Activity and safety evaluation of natural preservatives. Food Research International, 190:114548. DOI: [10.1016/j.foodres.2024.114548](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114548)

Duque-Soto, C., Ruiz-Vargas, A., Rueda-Robles, A., Quirantes-Piné, R., Borrás-Linares, I., Lozano-Sánchez, J. (2023) Bioactive Potential of Aqueous Phenolic Extracts of Spices for Their Use in the Food Industry—A Systematic Review. Foods, 12(16):3031. DOI: [10.3390/foods12163031](https://doi.org/10.3390/foods12163031)

El-Desouky T. A. (2021) Evaluation of effectiveness aqueous extract for some leaves of wild edible plants in Egypt as anti-fungal and anti-toxigenic. Heliyon, 7(2):e06209. DOI: [10.1016/j.heliyon.2021.e06209](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06209)

El-Samawaty, A. E. M. A., El-Wakil, D. A., Alamery, S., Mahmoud, M. M. H. (2021) Potency of plant extracts against *Penicillium* species isolated from different seeds and fruits in Saudi Arabia. Saudi journal of biological sciences, 28(6):3294–3302. DOI: [10.1016/j.sjbs.2021.02.074](https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.02.074)

Falleh, H., Ben Jemaa, M., Djebali, K., Abid, S., Saada, M., & Ksouri, R. (2019) Application of the mixture design for optimum antimicrobial activity: Combined treatment of *Syzygium aromaticum*, *Cinnamomum zeylanicum*, *Myrtus communis*, and *Lavandula stoechas* essential oils against *Escherichia coli*. Journal of Food Processing and Preservation, 43(12):e14257. DOI: [10.1111/jfpp.14257](https://doi.org/10.1111/jfpp.14257)

Florence, K. A. C., Awa, T., Frédéric, K. (2024) Abondance de *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass. (Asteraceae), une adventice envahissante et étude comparative des méthodes de lutte dans six (6) localités de la Côte d'Ivoire. Journal of Applied Biosciences, 202:21480–21492. DOI: [10.35759/JABs.202.7](https://doi.org/10.35759/JABs.202.7)

Fonseca, M. C. M. (2001) Crescimento, composição do óleo essencial, teores de óleo e de tanino em *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cassini. Dissertação. Universidade Federal de Viçosa, 72p. Disponível em: <https://locus.ufv.br/server/api/core/bitstreams/d02280b9-2f6e-4025-8fec-> Acesso em 10 de nov de 2025.

Fonseca, M. C. M., Barbosa, L. C. A., Casali, V. W. D. (2007) Influência da época e horário de colheita nos teores de óleo essencial e de taninos em couve-cravinho (*Porophyllum ruderale*) (Jacq.) Cassini. Revista Brasileira de Plantas Medicinais, 9(2):75–79. Disponível em: https://www1.ibb.unesp.br/Home/Departamentos/Botanica/RBPM-RevistaBrasileiradePlantasMedicinais/artigo9_v9n2_75-79.pdf Acesso em 11 de nov de 2025.

Fonseca, M. C. M., Lehner, M. S., Gonçalves, M. G., Paula Júnior, T. J., Silva, A. F., Bonfim, F. P. G., Prado, A. L. (2015) Potencial de óleos essenciais de plantas medicinais no controle de fitopatógenos. Revista Brasileira de Plantas Medicinais, 17(1):45–50. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbpm/a/qxYhxJbzSxy4jDXn88B8cc/?format=pdf> Acesso em 10 de nov de 2025.

Fonseca, M. C. M., Meira, R. M. S. A., & Casali, V. W. D. (2006) Anatomia dos órgãos vegetativos e histolocalização de compostos fenólicos e lipídicos em *Porophyllum ruderale* (Asteraceae). Planta Daninha, 24:707-713. DOI: [10.1590/S0100-83582006000400011](https://doi.org/10.1590/S0100-83582006000400011)

Fukalova Fukalova, T., García-Martínez, M. D., Raigón, M. D. (2022) Nutritional Composition, Bioactive Compounds, and Volatiles Profile Characterization of Two Edible Undervalued Plants: *Portulaca oleracea* L. and *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass. Plants, 11(3):377. DOI: [10.3390/plants11030377](https://doi.org/10.3390/plants11030377)

Furia, E., Beneduci, A., Malacaria, L., Fazio, A., La Torre, C., Plastina, P. (2021) Modeling the Solubility of Phenolic Acids in Aqueous Media at 37°C. Molecules, 26(21):6500. DOI: [10.3390/molecules26216500](https://doi.org/10.3390/molecules26216500)

Galdu, Rafael. (2021) Um Sertão fluminense: mudanças climáticas podem tornar semiáridos o Norte e o Noroeste do Rio. O Globo, 25. Jul. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/rio/um-sertao-fluminense-mudancas-climaticas-podem-tornar-semiaridos-norte-o-noroeste-do-rio-1-25123547>. Acesso em 05 de nov de 2025.

Gao, Y., Zhou, H., Wang, Y., et al. (2024) Insights into fermentation with lactic acid bacteria on the flavonoids biotransformation of alfalfa silage. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 11:73. DOI: [10.1186/s40538-024-00594-w](https://doi.org/10.1186/s40538-024-00594-w)

Gutiérrez-del-Río, I., Fernández, J., Lombó, F. (2018) Plant nutraceuticals as antimicrobial agents in food preservation: Terpenoids, polyphenols and thiols. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 52(3):309–315. DOI: [10.1016/j.ijantimicag.2018.04.024](https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2018.04.024)

Hajdu, Z., Hohmann, J. (2012) An ethnopharmacological survey of the traditional medicine utilized in the community of Porvenir, Bajo Paraguá Indian Reservation, Bolivia. *Journal of Ethnopharmacology*, 139(3):838–857. DOI: [10.1016/j.jep.2011.12.029](https://doi.org/10.1016/j.jep.2011.12.029)

Harborne, J. B. (1989) Introduction to ecological biochemistry (4th ed.). Academic Press. 336p.

Heredia Vieira, S. C., Souza, L. S., Batista, R. M., Silva, M. R. C., Marinho, M. M. (2021) Effect of *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass. in the liver of the B16-F10 murine melanoma model and antioxidant potential. *Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, 25(3):309–314. DOI: [10.17921/1415-6938.2021v25n3p309-314](https://doi.org/10.17921/1415-6938.2021v25n3p309-314)

Hernández, A., Rodríguez, A., Córdoba, M. G., Martín, A., Ruiz-Moyano, S. (2022) Fungal control in foods through biopreservation. *Current Opinion in Food Science*, 47:100904. DOI: [10.1016/j.cofs.2022.100904](https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100904)

Hosee, Y. N., Farhan, M. S., Shaban, S. A. (2025) The potential of medicinal plants in antifungal drug development: Mechanisms, synergies, and future directions. *Journal of Medicinal Innovations*, 30(1):1–17. DOI: [10.17966/JMI.2025.30.1.1](https://doi.org/10.17966/JMI.2025.30.1.1)

International Agency for Research on Cancer (2012) Review of human carcinogens, 100:171. IARC Press. Disponível em: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Review-Of-Human-Carcinogens-201> Acesso em 08 de nov de 2025.

Islam, M. R., Akash, S., Islam, M. M., Sarkar, N., Kumer, A., Chakraborty, S., Dhama, K., Al-Shaeri, M. A., Anwar, Y., Wilairatana, P., Rauf, A., Halawani, I. F., Alzahrani, F. M., Khan, H. (2024) Alkaloids as drug leads in Alzheimer's treatment: Mechanistic and therapeutic insights. *Brain Research*, 1834:148886. DOI: [10.1016/j.brainres.2024.148886](https://doi.org/10.1016/j.brainres.2024.148886)

Jafarzadeh, S., Abdolmaleki, K., Javanmardi, F., Hadidi, M., Khaneghah, A. M. (2022) Recent advances in plant-based compounds for mitigation of mycotoxin contamination in food products: Current status, challenges and perspectives. *International Journal of Food Science and Technology*, 57(4):2159–2170. DOI: [10.1111/ijfs.15555](https://doi.org/10.1111/ijfs.15555)

Kępka-Borkowska, K., Chałasiewicz, K., Ogłuszka, M., Borkowski, M., Lepczyński, A., Pareek, C. S., Starzyński, R. R., Lichwiarska, E., Sultana, S., Kalra, G., Purohit, N., Gralak, B., Poławska, E., Pierzchała, M. (2025) Current Approaches to Aflatoxin B1 Control in Food and Feed Safety: Detection, Inhibition, and Mitigation. *International*

Journal of Molecular Sciences, 26(13):6534. DOI: [10.3390/ijms26136534](https://doi.org/10.3390/ijms26136534)

Khezerlou, A., Akhlaghi, A. P., Alizadeh, A. M., Dehghan, P., Maleki, P. (2022) Alarming impact of the excessive use of tert-butylhydroquinone in food products: A narrative review. Toxicology reports, 9:1066–1075. DOI: [10.1016/j.toxrep.2022.04.027](https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2022.04.027)

Konfo, T. R. C.; Djouhou, F. M. C.; Koudoro, Y. A.; Dahouenon-Ahoussi, E.; Avlessi, F.; Sohouunhloue, C. K. D.; Simal-Gandara, J. (2023) Essential oils as natural antioxidants for the control of food preservation. Food Chemistry Advances, 2:100312. DOI: [10.1016/j.focha.2023.100312](https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100312)

Kumar, B. R., Anupam, A., Manchikanti, P., Rameshbabu, A. P., Dasgupta, S., Dhara, S. (2018) Identification and characterization of bioactive phenolic constituents, anti-proliferative, and anti-angiogenic activity of stem extracts of *Basella alba* and *Basella rubra*. Journal of Food Science and Technology, 55(5):1675–1684. DOI: [10.1007/s13197-018-3079-0](https://doi.org/10.1007/s13197-018-3079-0)

Kumar, N., Goel, N. (2019) Phenolic acids: Natural versatile molecules with promising therapeutic applications. Biotechnology Reports, 24:e00370. DOI: [10.1016/j.btre.2019.e00370](https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00370)

Levetin, E. (2004) An atlas of fungal spores. Journal of Allergy and Clinical Immunology, 113(2):366–368. DOI: [10.1016/j.jaci.2003.09.049](https://doi.org/10.1016/j.jaci.2003.09.049)

Leyva Salas, M., Mounier, J., Valence, F., Coton, M., Thierry, A. e Coton, E. (2017) Antifungal Microbial Agents for Food Biopreservation-A Review. Microorganisms, 5(3):37. DOI: [10.3390/microorganisms5030037](https://doi.org/10.3390/microorganisms5030037)

Liberato, I., Lino, L. A., Souza, J. K., Neto, J. B., Sá, L. G., Cabral, V. P., Silva, C. R., Cavalcanti, B. C., Moraes, M. O., Freire, V. N., Júnior, H. V., Andrade, C. R. (2022) Gallic acid leads to cell death of *Candida albicans* by the apoptosis mechanism. Future microbiology, 17:599–606. DOI: [10.2217/fmb-2021-0139](https://doi.org/10.2217/fmb-2021-0139)

Liew, W. P.-P., Mohd-Redzwan, S. (2018) Mycotoxin: Its impact on gut health and microbiota. Frontiers in Cellular and Infection Microbiology, 8:60. DOI: [10.3389/fcimb.2018.00060](https://doi.org/10.3389/fcimb.2018.00060)

Lim, K. J. A., Cabajar, A. A., Lobarbio, C. F. Y., Taboada, E. B., Lacks, D. J. (2019) Extraction of bioactive compounds from mango (*Mangifera indica* L. var. Carabao) seed kernel with binary ethanol–water solvent systems. Journal of Food Science and Technology, 56:2536–2544. DOI: [10.1007/s13197-019-03732-7](https://doi.org/10.1007/s13197-019-03732-7)

Liu, T., Qu, X., Zhao, M., Zhang, D., Guo, J. (2025) Investigation of the production and antifungal properties of nanocapsules containing chamomile essential oil. Scientific Reports, 15(1):23981. DOI: [10.1038/s41598-025-08802-9](https://doi.org/10.1038/s41598-025-08802-9)

Loayza, I., De Groot, W., Lorenzo, D., Dellacassa, E., Mondello, L., Dugo, G. (1999) Composition of the essential oil of *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass. from Bolivia. Flavour and Fragrance Journal, 14(6):393–398. DOI: [10.1002/\(SICI\)1099-1026\(199911/12\)14:6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1026(199911/12)14:6)

Lyu, X., Lee, J., Chen, W. N. (2019) Potential natural food preservatives and their sustainable production in yeast: Terpenoids and polyphenols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(16):4397–4417. DOI: [10.1021/acs.jafc.8b07141](https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b07141)

Mafe, A. N.; Büsselberg, D. (2024) Mycotoxins in Food: Cancer Risks and Strategies for Control. *Foods*, 13(21):3502. DOI: [10.3390/foods13213502](https://doi.org/10.3390/foods13213502)

Maj, W., Pertile, G., Różalska, Skic, K., Frąc, M. (2024) Comprehensive antifungal investigation of natural plant extracts against *Neosartorya* spp. (*Aspergillus* spp.) of agriculturally significant microbiological contaminants and shaping their metabolic profile. *Sci Rep*, 14:8399. DOI: [10.1038/s41598-024-58791-4](https://doi.org/10.1038/s41598-024-58791-4)

Manela-Azulay, M., Mandarim-de-Lacerda, C. A., Perez, M. A., Filgueira, A. L., Cuzzi, T. (2003) Vitamina C. *Anais Brasileiros de Dermatologia*, 78(3):265–272. DOI: [10.1590/S0365-05962003000300002](https://doi.org/10.1590/S0365-05962003000300002)

Mao, Y., Luo, J., Cai, Z. (2025) Biosynthesis and Regulatory Mechanisms of Plant Flavonoids: A Review. *Plants*, 14(12):1847. DOI: [10.3390/plants14121847](https://doi.org/10.3390/plants14121847)

Mar, J. M., Silva, L. S. da, Moreira, W. P., Biondo, M. M., Pontes, F. L. D., Campos, F. R., Kinupp, V. F., Campelo, P. H., Sanches, E. A., Bezerra, J. de A. (2021) Edible flowers from *Theobroma speciosum*: Aqueous extract rich in antioxidant compounds. *Food Chemistry*, 356:129723. DOI: [10.1016/j.foodchem.2021.129723](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129723)

Marinho, B. M., Lescano, C. H., & Santos, S. H. S. (2024) Brazilian arnicas: bioactive compounds, pharmacological properties, potential use and clinical applications. *Phytochemistry Reviews*, 23(1):245-280. DOI: [10.1007/s11101-023-09884-x](https://doi.org/10.1007/s11101-023-09884-x)

Marnotte, P., & Le Bourgeois, T. (2019) *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass. *Le Journal de botanique*, 87(1):123-125. DOI: [10.3406/jobot.2019.1925](https://doi.org/10.3406/jobot.2019.1925)

Marques, É. A., Oliveira, J. A., Coelho, A. D., Oliveira, J. P., Gavilanes, M. L. (2020) *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass.: uma revisão dos últimos 39 anos. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, 9(7):e944975215. DOI: [10.33448/rsd-v9i7.5215](https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.5215)

Martins, N., Barros, L., Santos-Buelga, C., Silva, S., Henriques, M., Ferreira, I. C. F. R. (2015) Decoction, infusion and hydroalcoholic extract of cultivated thyme: Antioxidant and antibacterial activities, and phenolic characterisation. *Food Chemistry*, 167:131–137. DOI: [10.1016/j.foodchem.2014.06.094](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.094)

Mendes, N. S. (2016) Validação de método para determinação de substâncias fenólicas em extrato de *Capsicum baccatum* por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). *Dissertação*. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 143p.

Mira, L., Fernandez, M. T., Santos, M., Rocha, R., Florêncio, M. H., Jennings, K. R. (2008) Interactions of flavonoids with iron and copper ions: a mechanism for their antioxidant activity. *Free radical research*, 36(11):1199–1208. DOI: [10.1080/1071576021000016463](https://doi.org/10.1080/1071576021000016463)

Molina-Hernandez, J. B., Grande-Tovar, C. D., Neri, L., Delgado-Ospina, J., Rinaldi,

M., Cordero-Bueso, G. A., & Chaves-López, C. (2025) Enhancing postharvest food safety: the essential role of non-thermal technologies in combating fungal contamination and mycotoxins. *Frontiers in Microbiology*, 16:1543716. DOI: [10.3389/fmicb.2025.1543716](https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1543716)

Molino, S., Casanova, N. A., Rufián Henares, J. Á., Fernandez Miyakawa, M. E. (2020) Natural tannin wood extracts as a potential food ingredient in the food industry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(10):2836– 2848. DOI: [10.1021/acs.jafc.9b00590](https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b00590)

Morales, J., Mendoza, L., Cotoras, M. (2017) Alteration of oxidative phosphorylation as a possible mechanism of the antifungal action of p- coumaric acid against *Botrytis cinerea*. *Journal of Applied Microbiology*, 123(2):402–412. DOI: [10.1111/jam.13540](https://doi.org/10.1111/jam.13540)

Moreira, H. J. C.; Bragança, H. B. N. (2010) Manual de identificação de plantas infestantes: cultivos de verão. Campinas, SP. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/875060/1/ManualBrigenti.pdf>. Acesso em 17 jul 2025.

National Center for Biotechnology Information (2025) PubChem Compound Summary for CID 370, Gallic Acid. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Gallic-Acid>. Acesso em 08 de out de 2025.

National Center for Biotechnology Information (2025) PubChem Compound Summary for CID 18818, Sabinene. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sabinene>. Acesso 07 de ago de 2025.

National Center for Biotechnology Information (2025) PubChem Compound Summary for CID 22311, Limonene. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Limonene>. Acesso em 07 de ago de 2025.

National Center for Biotechnology Information (2025) PubChem Compound Summary for CID 31253, Myrcene. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Myrcene>. Acesso em 07 de ago de 2025.

National Center for Biotechnology Information (2025) PubChem Compound Summary for CID 65064, Epigallocatechin Gallate. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Epigallocatechin-Gallate>. Acesso em 07 de ago de 2025.

National Center for Biotechnology Information (2025) PubChem Compound Summary for CID 445858, Ferulic Acid. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Ferulic-Acid>. Acesso em 08 de ago de 2025.

National Center for Biotechnology Information (2025) PubChem Compound Summary for CID 5281672, Myricetin. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Myricetin>. Acesso em 08 de ago de 2025.

National Center for Biotechnology Information (2025) PubChem Compound Summary for CID 5280443, Apigenin. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Apigenin>. Acesso em 07 de ago de 2025.

Nieto, G., Martínez-Zamora, L., Peñalver, R., Marín-Iniesta, F., Taboada-Rodríguez, A., López-Gómez, A., Martínez-Hernández, G. B. (2024) Applications of Plant Bioactive Compounds as Replacers of Synthetic Additives in the Food Industry. *Foods*, 13(1):47. DOI: [10.3390/foods13010047](https://doi.org/10.3390/foods13010047)

Nunes, C. R., Valente, P. M., Silva, F. D., Valente, V. M. M. (2021) Composição química e atividade antifúngica do óleo essencial de *Thymus vulgaris* sobre *Aspergillus niger*, *Penicillium expansum*, *Sclerotinia sclerotiorum* e *Sclerotium rolfsii*. *Brazilian Journal of Development*, 7(2):14250–14260. DOI: [10.34117/bjdv7n2-173](https://doi.org/10.34117/bjdv7n2-173)

Odonne, G., Valadeau, C., Alban-Castillo, J., Stien, D., Sauvain, M., Bourdy, G. (2013) Medical ethnobotany of the Chayahuita of the Paranapura basin (Peruvian Amazon). *Journal of ethnopharmacology*, 146(1):127–153. DOI: [10.1016/j.jep.2012.12.014](https://doi.org/10.1016/j.jep.2012.12.014)

Ozogul, Y., Ucar, Y., Tadesse, E. E., Rathod, N., Kulawik, P., Trif, M., Esatbeyoglu, T., & Ozogul, F. (2025) Tannins for food preservation and human health: A review of current knowledge. *Applied Food Research*, 5(1):100738. DOI: [10.1016/j.afres.2025.100738](https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.100738)

Pawlowska, K. A., Baracz, T., Skowrońska, W., Piwowarski, J. P., Majdan, M., Malarz, J., Stojakowska, A., Zidorn, C., Granica, S. (2022) The contribution of phenolics to the anti-inflammatory potential of the extract from Bolivian coriander (*Porophyllum ruderale* subsp. *ruderale*). *Food Chemistry*, 371:131116. DOI: [10.1016/j.foodchem.2021.131116](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131116)

Peel, M. C., Finlayson, B. L., McMahon, T. A. (2007) Updated world map of the Köppen–Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(5):1633–1644. DOI: [10.5194/hess-11-1633-2007](https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007)

Pereira, M. do S. V., Ribeiro, A. D., Figueirêdo Júnior, E. C., Freire, J. C. P., Costa, M. M. A. (2022) Estudo sobre métodos utilizados para a determinação da atividade antimicrobiana de extratos de plantas medicinais: Elucidações e limitações das técnicas. *Brazilian Journal of Development*, 8(4):26085–26104. DOI: [10.34117/bjdv8n4-222](https://doi.org/10.34117/bjdv8n4-222)

Picot, A., Doster, M., Islam, M. S., Callicott, K., Ortega-Beltran, A., Cotty, P., Michailides, T. (2018) Distribution and incidence of atoxigenic *Aspergillus flavus* VCG in tree crop orchards in California: A strategy for identifying potential antagonists, the example of almonds. *International Journal of Food Microbiology*, 265:55–64. DOI: [10.1016/j.ijfoodmicro.2017.10.022](https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2017.10.022)

Pinto, L., Tapia-Rodríguez, M. R., Baruzzi, F., Ayala-Zavala, J. F. (2023) Plant Antimicrobials for Food Quality and Safety: Recent Views and Future Challenges. *Foods*, 12(12):2315. DOI: [10.3390/foods12122315](https://doi.org/10.3390/foods12122315)

Plaskova, A., Mlcek, J. (2023) New insights of the application of water or ethanol-water plant extract rich in active compounds in food. *Frontiers in Nutrition*, 10:1118761. DOI:

[10.3389/fnut.2023.1118761](https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1118761)

Pouris, J., Kolyva, F., Bratakou, S., Vogiatzi, C. A., Chaniotis, D., Beloukas, A. (2024) The Role of Fungi in Food Production and Processing. *Applied Sciences*, 14(12):5046. DOI: [10.3390/app14125046](https://doi.org/10.3390/app14125046)

Raggi, L., Cordeiro, I., Moreno, P. R. H., & Young, M. C. M. (2014) Essential oil composition from *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass. subspecies, cultivated in two biogeographically different regions, Brazilian Cerrado and Atlantic Rain Forest. *Planta Medica*, 80(16):P2B89. DOI: [10.1055/s-0034-1394966](https://doi.org/10.1055/s-0034-1394966)

Rammal, H., Kobeissy, H., Abdel-Massih, R. M., Dandache, I., Ghanem, H., Nabbout, R., Al-Halabi, R., Habib, J. (2025) Phytochemical profiling, antioxidant activity, food preservation, and insecticidal properties of *Origanum syriacum* and *Cymbopogon winterianus* extracts. *Foods*, 14(8):1347. DOI: [10.3390/foods14081347](https://doi.org/10.3390/foods14081347)

Rammal, M., Badran, A., Haidar, C., Sabbah, A., Bechelany, M., Awada, M., Hassan, K. H., El-Dakdouki, M., Raad, M. T. (2024) *Cymbopogon winterianus* (Java Citronella Plant): A Multi-Faceted Approach for Food Preservation, Insecticidal Effects, and Bread Application. *Foods*, 13(5):803. DOI: [10.3390/foods13050803](https://doi.org/10.3390/foods13050803)

Renovato-Núñez, J., Cobos-Puc, L. E., Ascacio-Valdés, J. A., Rodríguez- Herrera, R., Iliná, A., Barrón-González, M. P., Silva-Belmares, S. Y. (2023) Polyphenolic characterization and antiprotozoal effect of extracts obtained by maceration, ultrasound, microwave and ultrasound/microwave of *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass. *Natural Product Research*, 39(2):336–340. DOI: [10.1080/14786419.2023.2265532](https://doi.org/10.1080/14786419.2023.2265532)

Rolland, N., Girard, V., Monnin, V., Arend, S., Perrin, G., Ballan, D., Beau, R., Collin, V., D'Arbaumont, M., Weill, A., Deniel, F., Tréguer, S., Pawtowski, A., Jany, J.-L., Mounier, J. (2024) Identification of Food Spoilage Fungi Using MALDI-TOF MS: Spectral Database Development and Application to Species Complex. *Journal of Fungi*, 10(7):456. DOI: [10.3390/jof10070456](https://doi.org/10.3390/jof10070456)

Rosa, L. C. M., Pintro, P. T. M. (2022) Antioxidantes naturais aplicados em produtos à base de carne bovina: uma alternativa promissora. *Revista Principia*, 59(4):1376–1390. DOI: [10.18265/1517-0306a2021id5752](https://doi.org/10.18265/1517-0306a2021id5752)

Rickards, L., Lynn, A., Harrop, D., Barker, M. E., Russell, M., Ranchordas, M. K. (2021) Effect of Polyphenol-Rich Foods, Juices, and Concentrates on Recovery from Exercise Induced Muscle Damage: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients*, 13(9):2988. DOI: [10.3390/nu13092988](https://doi.org/10.3390/nu13092988)

Rudrapal, M., Rakshit, G., Singh, R. P., Garse, S., Khan, J., Chakraborty, S. (2024) Dietary Polyphenols: Review on Chemistry/Sources, Bioavailability/Metabolism, Antioxidant Effects, and Their Role in Disease Management. *Antioxidants*, 13(4):429. DOI: [10.3390/antiox13040429](https://doi.org/10.3390/antiox13040429).

Rutkowska, J., & Pasqualone, A. (2025) Plant extracts as functional food ingredients. *Foods*, 14(3):374. DOI: [10.3390/foods14030374](https://doi.org/10.3390/foods14030374).

Salamatullah, A. M., Alkaltham, M. S., Hayat, K., Ahmed, M. A., Arzoo, S., Husain, F. M., Alzahrani, A. (2021) Bioactive and antimicrobial properties of eggplant (*Solanum melongena* L.) under microwave cooking. *Sustainability*, 13(3):1519. DOI: [10.3390/su13031519](https://doi.org/10.3390/su13031519).

Sampaolesi, S., Briand, L. E., De Antoni, G., León Peláez, A. (2022) The synthesis of soluble and volatile bioactive compounds by selected brewer' yeasts: Antagonistic effect against enteropathogenic bacteria and food spoiler - toxicogenic *Aspergillus* sp. *Food chemistry: X*, 13:100193. DOI: [10.1016/j.fochx.2021.100193](https://doi.org/10.1016/j.fochx.2021.100193).

Santos, F. B., Oliveira, L. C., Pereira, J. A., Almeida, M. R. (2023) UV–Vis spectrophotometric profiling of phenolic acids in Brazilian craft beers: Focus on p-coumaric and ferulic acids. *Food Analytical Methods*, 16(2):342–355. DOI: [10.1007/s12161-022-02205-w](https://doi.org/10.1007/s12161-022-02205-w).

Shahbazi, R., Sharifzad, F., Bagheri, R., Alsadi, N., Yasavoli-Sharahi, H., Matar, C. (2021) Anti-Inflammatory and Immunomodulatory Properties of Fermented Plant Foods. *Nutrients*, 13(5):1516. DOI: [10.3390/nu13051516](https://doi.org/10.3390/nu13051516).

Sharma, K., Kumar, V., Kaur, J., Tanwar, B., Goyal, A., Sharma, R., Kumar, A. (2019) Health effects, sources, utilization and safety of tannins: A critical review. *Toxin Reviews*, 40(4):432–444. DOI: [10.1080/15569543.2019.1662813](https://doi.org/10.1080/15569543.2019.1662813).

Shen, N., Wang, T., Gan, Q., Liu, S., Wang, L., Jin, B. (2022) Plant flavonoids: Classification, distribution, biosynthesis, and antioxidant activity. *Food Chemistry*, 383:132531. DOI: [10.1016/j.foodchem.2022.132531](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132531).

Sik, B., Hanczné, E. L., Kapcsndi, V., Ajtny, Z. (2020) Conventional and non-conventional extraction techniques for optimal rosmarinic acid yield from six *Lamiaceae* species as determined by HPLC-DAD measurement. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 184:113173. DOI: [10.1016/j.jpba.2020.113173](https://doi.org/10.1016/j.jpba.2020.113173).

Souza, M. C., Siani, A. C., Ramos, M. F. S., Menezes-de-Lima Jr, O., Henriques, M. G. M. O. (2003) Evaluation of anti-inflammatory activity of essential oils from two Asteraceae species. *Die Pharmazie - An International Journal of Pharmaceutical Sciences*, 58(8):582–586. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12967039/>. Acesso em 08 de out de 2025.

Tadtong, S., Chantavacharakorn, R., Khayankan, S., Akachaipaibul, P., Eiamart, W., Samee, W. (2025) Synergistic Antifungal Properties, Chemical Composition, and Frontier Molecular Orbital Analysis of Essential Oils from Lemongrass, Kaffir Lime, Lime, Dill, and Shatavari Against *Malassezia furfur*. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(12):5601. DOI: [10.3390/ijms26125601](https://doi.org/10.3390/ijms26125601).

Tafesh, A., Najami, N., Jadoun, J., Halahlih, F., Riepl, H., & Azaizeh, H. (2011) Synergistic antibacterial effects of polyphenolic compounds from olive mill wastewater. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2011(1):431021. DOI: [10.1155/2011/43102](https://doi.org/10.1155/2011/43102)

Takahashi, H. T., Novello, C. R., Ueda-Nakamura, T., Filho, B. P. D., Palazzo de Mello,

J. C., Nakamura, C. V. (2011) Thiophene Derivatives with Antileishmanial Activity Isolated from Aerial Parts of *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass. Molecules, 16(5):3469-3478. DOI: [10.3390/molecules16053469](https://doi.org/10.3390/molecules16053469).

Tongnuanchan, P., Benjakul, S. (2014) Essential oils: Extraction, bioactivities, and their uses for food preservation. Journal of Food Science, 79(7):R1231–R1249. DOI: [10.1111/1750-3841.12492](https://doi.org/10.1111/1750-3841.12492).

Vargas-Madriz, Á. F., Luzardo-Ocampo, I., Moreno-Celis, U., Roldán-Padrón, O., Chávez-Servín, J. L., Vergara-Castañeda, H. A., Martínez-Pacheco, M., Mejía, C., García-Gasca, T., Kuri-García, A. (2023) Comparison of Phytochemical Composition and Untargeted Metabolomic Analysis of an Extract from *Cnidoscolus aconitifolius* (Mill.) I. I. Johnst and *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass. and Biological Cytotoxic and Antiproliferative Activity *In Vitro*. Plants, 12(10):1987. DOI: [10.3390/plants12101987](https://doi.org/10.3390/plants12101987).

Varsha, K. K., Nampoothiri, K. M. (2016) Appraisal of lactic acid bacteria as protective cultures. Food Control, 69:61–64. DOI: [10.1016/j.foodcont.2016.04.032](https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.04.032).

Vázquez-Atanacio, M. J., Bautista, M., González-Cortazar, M., Romero-Estrada, A., De la O-Arciniega, M., Castañeda-Ovando, A., Sosa-Gutiérrez, C. G., Ojeda-Ramírez, D. (2022) Nephroprotective activity of papaloquelite (*Porophyllum ruderale*) in thioacetamide-induced injury model. Plants, 11(24):3460. DOI: [10.3390/plants11243460](https://doi.org/10.3390/plants11243460).

Venable LLP. (2025) Exploring the future of GRAS: HHS's recent directive and its implications. Disponível em: <https://www.venable.com/insights/publications/2025/03/exploring-the-future-of-gras-hhss-recent-directive>. Acesso em 11 de ago de 2025.

Venâncio, D. C. V. (2021) Atividade antimicrobiana, antioxidante e prospecção fitoquímica dos extratos de *Equisetum pyramidale*, *Pouteria ramiflora*, *Porophyllum ruderale*, *Tapirira obtusa* e *Smilax fluminensis*. Dissertação. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Repositório Institucional da UFMS, 63p.

Viana, L. I. (2008) Espectroscopia de absorção e de fluorescência. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. 18p. Disponível em https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/17692/17692_4.PDF. Acesso em 15 de ago de 2025.

Vijayalakshmi, K., Krishnamurthy, R., Rajangam, U. (2018) Antifungal activity of *Mimosa pudica* L. against selected human pathogens. International Journal of Advanced Scientific Research and Management, 3(10):1–6. DOI: [10.36282/IJASRM/3.10.2018.876](https://doi.org/10.36282/IJASRM/3.10.2018.876).

Walczak-Nowicka, Ł. J., Herbet, M. (2022) Sodium Benzoate—Harmfulness and Potential Use in Therapies for Disorders Related to the Nervous System: A Review. Nutrients, 14(7):1497. DOI: [10.3390/nu14071497](https://doi.org/10.3390/nu14071497).

Wang, Q., Zhao, X., Jiang, Y., Jin, B., Wang, L. (2023) Functions of Representative Terpenoids and Their Biosynthesis Mechanisms in Medicinal Plants. Biomolecules, 13(12):1725. DOI: [10.3390/biom13121725](https://doi.org/10.3390/biom13121725).

Wang, T. Y., Li, Q., Bi, K. S. (2018) Bioactive flavonoids in medicinal plants: Structure, activity and biological fate. Asian journal of pharmaceutical sciences, 13(1):12–23. DOI: [10.1016/j.ajps.2017.08.004](https://doi.org/10.1016/j.ajps.2017.08.004).

Yamashita, O. M., Albuquerque, M. C. F., Guimarães, S. C., Silva, J. L. D., & Carvalho, M. A. C. D. (2008) Influência da temperatura e da luz na germinação de sementes de couve-cravinho (*Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass.). Revista Brasileira de Sementes, 30:202-206. DOI: [10.1590/S0101-31222008000300027](https://doi.org/10.1590/S0101-31222008000300027).

Yan, H., Meng, X., Lin, X., Duan, N., Wang, Z., Wu, S. (2023) Antifungal activity and inhibitory mechanisms of ferulic acid against the growth of *Fusarium graminearum*. Food Bioscience, 52:102414. DOI: [10.1016/j.fbio.2023.102414](https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102414)

Yang, P., Huo, Y., Yang, Q., Zhao, F., Li, C., Ju, J. (2025) Synergistic anti- biofilm strategy based on essential oils and its application in the food industry. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 41(3):81. DOI: [10.1007/s11274-025-04289-8](https://doi.org/10.1007/s11274-025-04289-8)

Yang, X., Lan, W., Sun, X. (2023) Antibacterial and antioxidant properties of phenolic acid grafted chitosan and its application in food preservation: A review. Food Chemistry, 428:136788. DOI: [10.1016/j.foodchem.2023.136788](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136788)

Yilmazer Keskin, S., Avci, A., Arif Ali Ali, L., Keskin, C. S. (2025) Analysis of Polyphenols from *Polygala major* Jacq. Antioxidants (Basel, Switzerland), 14(2):153. DOI: [10.3390/antiox14020153](https://doi.org/10.3390/antiox14020153).

Yoshida, T., Amakura, Y., Yoshimura, M. (2010) Structural Features and Biological Properties of Ellagitannins in Some Plant Families of the Order Myrtales. International Journal of Molecular Sciences, 11(1):79-106. DOI: [10.3390/ijms11010079](https://doi.org/10.3390/ijms11010079).

Yu, H. H., Chin, Y.-W., Paik, H.-D. (2021) Application of Natural Preservatives for Meat and Meat Products against Food-Borne Pathogens and Spoilage Bacteria: A Review. Foods, 10(10):2418. DOI: [10.3390/foods10102418](https://doi.org/10.3390/foods10102418).

Zacharias, A. O., Carvalho, H. M. G., Madeira, N. R. (2021) Hortaliças PANC: segurança alimentar e nicho de mercado. Brasília, DF: Embrapa; Sebrae. 11p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1135221>. Acesso em 12 de set de 2025.

Zhang, Y., Yu, W., Zhang, L., Wang, M., Chang, W. (2022) The Interaction of Polyphenols and the Gut Microbiota in Neurodegenerative Diseases. Nutrients, 14(24):5373. DOI: [10.3390/nu14245373](https://doi.org/10.3390/nu14245373).