ISSN: 2674-9270
Volume. 8, n. 1, jan./jun. 2026

ARTIGO

Recital
Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara/MG.

Caracterização química e atividade antifúngica *in vitro* do óleo essencial de frutos verdes de *Protium Ovatum*

Fernando Campos Pimentel
Instituto Federal Goiano
E-mail: fcampospimentel@gmail.com

Flávio Arantes Campos
Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde
E-mail: flavio.acampos@hotmail.com

Antônio Pires Freire
Instituto Federal Goiano
E-mail: antonio.pires22@hotmail.com

Marizângela Ribeiro dos Santos
Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde
E-mail: maridinda@hotmail.com

Geomar Souza Alves
Centro Universitário de Iporá - UNIPORÁ
E-mail: geomargsa7@gmail.com

Santiele Vieira da Silva Mendes
Centro Universitário de Iporá - UNIPORÁ
E-mail: silvasantiele@gmail.com

Amanda de Oliveira Souza
Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde
E-mail: amandaoliveirasouzza@gmail.com

Marcela Christofoli
Universidade Estadual de Goiás
E-mail: christofolimarcela@gmail.com

DOI: *https://doi.org/10.46636/recital.v8i1.651*

Como citar este artigo: PIMENTEL, Fernando Campos; CAMPOS, Flávio Arantes; FREIRE, Antonio Pires; SANTOS, Marizângela Ribeiro dos; ALVES, Geomar Souza; MENDES, Santiele Vieira da Silva; SOUZA, Amanda de Oliveira; CHRISTOFOLI, Marcela. Caracterização química e atividade antifúngica in vitro do óleo essencial de frutos verdes de Protium Ovatum. **Recital - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara/MG**, v. 8, n. 1, p. 209–221, 2026. DOI: 10.46636/recital.v8i1.651. Disponível em: https://recital.almenara.ifnmg.edu.br/recital/article/view/651.

Recebido: *13 Fev. 2025*

Aceito: *29 Abr. 2026*

Está obra está licenciada sobre uma Creative Commons Attribution 4.0 International License. Nenhuma parte desta revista poderá ser reproduzida ou transmitida, para propósitos comerciais, sem permissão por escrito. Para outros propósitos, a reprodução deve ser devidamente referenciada. Os conceitos emitidos em artigos assinados são de responsabilidade exclusiva de seus autores.

Caracterização química e atividade antifúngica *in vitro* do óleo essencial de frutos verdes de *Protium Ovatum*

RESUMO

Fungos fitopatogênicos causam grandes prejuízos à agricultura, reduzindo a produtividade das plantas. Este estudo avaliou a composição química e a atividade antifúngica do óleo essencial dos frutos verdes de *Protium ovatum* contra os fungos *Botrytis cinerea* e *Colletotrichum truncatum*. O processo de otimização de obtenção do OEPO foi realizado por hidrodestilação, em aparelho clevenger, e analisado por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas. A atividade antifúngica foi avaliada pela inibição média do crescimento micelial dos fungos tratados com o óleo essencial, em comparação ao controle de crescimento. Foram identificados 15 compostos, dos quais os majoritários no OEPO foram germacreno D (24,9%), γ-muuroleno (19,8%), além dos monoterpenos β-mirceno (10,26%), α-pineno (9,46%) e *p*-cimeno (8,23%). O óleo essencial demonstrou eficácia antifúngica contra ambos os fungos avaliados, em todas as concentrações testadas, apresentando um comportamento dependente da dose. Os resultados mais expressivos foram observados para *B. cinerea*, em que a menor concentração testada inibiu mais de 65% do crescimento micelial. Este estudo, de acordo com o conhecimento atual, é pioneiro ao relatar a otimização do processo de extração do OEPO e sua atividade antifúngica contra os fungos fitopatogênicos *B. cinerea* e *C. truncatum*.

Palavras-chave: Metabólitos especiais. *Botrytis cinerea*. *Colletotrichum truncatum.*

Chemical characterization and in vitro antifungal activity of essential oil from green fruits of Protium ovatum

ABSTRACT

Phytopathogenic fungi cause major damage to agriculture, reducing plant productivity. This study evaluated the chemical composition and antifungal activity of the essential oil extracted from the green fruits of *Protium ovatum* against the fungi *Botrytis cinerea* and *Colletotrichum truncatum*. The OEPO extraction process was optimized through hydrodistillation using a Clevenger apparatus and analyzed by gas chromatography coupled with mass spectrometry (GC-MS). The antifungal activity was assessed by measuring the average inhibition of mycelial growth in fungi treated with the essential oil, compared to a growth control. Total of 15 compounds were identified in the OEPO, with the major constituents being germacrene D (24.9%), γ-muurolene (19.8%), as well as the monoterpenes β-myrcene (10.26%), α-pinene (9.46%), and p-cymene (8.23%). The essential oil demonstrated antifungal efficacy against both evaluated fungi at all tested concentrations, exhibiting a dose-dependent response. The most significant results were observed for *B. cinerea*, where the lowest concentration tested inhibited more than 65% of mycelial growth. According to current knowledge, this study is the first to report the optimization of the OEPO extraction process and its antifungal activity against the phytopathogenic fungi *B. cinerea* and *C. truncatum*.

Keywords: Special metabolites. *Botrytis cinerea*. *Colletotrichum truncatum.*

INTRODUÇÃO

Os fungos fitopatogênicos destacam-se como importantes agentes infecciosos de plantas, resultando em consideráveis prejuízos econômicos e reduções na produtividade. *Botrytis cinerea* é um fungo causador do mofo cinzento, uma doença que afeta diversas culturas de frutas e hortaliças, como morango, tomate e uva, tanto no campo quanto em estufas, bem como no período pós-colheita (Rguez *et al*., 2020; Rahman *et al*., 2024). Outra doença que afeta *commodities* importantes, como a soja, é a antracnose, causada pelo *Colletotrichum truncatum* (Soto *et al*., 2020). Por décadas, fungicidas sintéticos têm sido usados no controle de fungos fitopatogênicos, mas sua toxicidade afeta organismos não-alvo, o ambiente e a saúde humana, além de favorecer o surgimento de fungos resistentes (Zaccardelli *et al*., 2020).

Turan e colaboradores (2019) ressaltam que a busca por maior produtividade agrícola com menor impacto ambiental é um desafio global para garantir o abastecimento alimentar futuro. Nesse viés, produtos naturais provenientes de plantas aromáticas têm se destacado como alternativas promissoras aos fungicidas sintéticos, devido ao seu comprovado potencial antifúngico em diversos estudos (Zaccardelli *et al*., 2020; Santos *et al*., 2021; Pimentel *et al*., 2023). A família *Burseraceae* inclui o gênero *Protium*, com destaque para *Protium ovatum* (vick-do-cerrado), presente no Cerrado e na Amazônia.

O óleo essencial das folhas foi eficaz contra os protozoários *Trypanosoma cruzi*, *Leishmania amazonensis* e exibiu toxicidade moderada em células epiteliais LLCMK2 (Sousa *et al*., 2025). O óleo essencial dos frutos verdes exerceu atividade anti-*Trypanosoma cruzi* (Estevam *et al*., 2018) e antifúngica contra *Malassezia furfurand* e *Candida ssp* (Rodrigues *et al*., 2022). Resinas dessa planta apresentam propriedades anti-inflamatórias, analgésicas, imunoestimulantes e anticancerígenas (Siani *et al*., 2011). O óleo essencial de frutos maduros apresentou atividade antifúngica contra *Sclerotinia sclerotiorum* (Sousa *et al*., 2021). Espécies do gênero *Protium* possuem uma mistura de mono, sesquiterpenos e triterpenos (Moraes *et al*., 2013).

Neste contexto, realizou-se um estudo fitoquímico do óleo essencial dos frutos verdes de *Protium ovatum* e sua atividade antifúngica sobre *Botrytis cinerea* e *Colletotrichum truncatum*.

REFERENCIAL TEÓRICO

Fungos fitopatogênicos

O Brasil destaca-se como um dos maiores produtores agrícolas e também como um dos principais consumidores de agroquímicos no mundo. Esses produtos são amplamente utilizados no combate a pragas, garantindo altos níveis de produtividade e movimentando cerca de 10 bilhões de dólares por ano no país, o que corresponde a 20% do mercado global (Barizon *et al*., 2019; Paumgartten, 2020).

Entre as pragas que afetam culturas agrícolas no Brasil e no mundo, estão os fungos fitopatogênicos, responsáveis por prejudicar a saúde das plantas e causar expressivas perdas econômicas em todas as etapas do processo produtivo, desde o cultivo até o transporte e armazenamento (Rguez e*t al*., 2020). O mofo cinzento, causado por *Botrytis cinerea*, é um exemplo notável, pois compromete mais de 200 espécies de culturas, especialmente o morangueiro, tomateiro (Habib *et al*., 2020) e videira (Rahman *et al*., 2024). Esse patógeno é difícil de controlar devido à complexidade das interações entre hospedeiro e fungo, sendo

favorecido por clima úmido e temperaturas baixas. Ele pode causar perdas de até 80% nas flores e frutos, gerando prejuízos que ultrapassam 10 bilhões de dólares anualmente no mundo (Wang *et al*., 2019; Vitor *et al*., 2019; Petrasch *et al*., 2019).

Outro patógeno de relevância global é o gênero *Colletotrichum*, causador da antracnose, que atinge uma ampla variedade de vegetais, frutas e leguminosas como feijão e soja. A espécie *C. truncatum* é o principal agente dessa doença, apresentando micélio septado, conídios hialinos e unicelulares, e reprodução assexuada (Putzke; Putzke, 2002; Rogério *et al*., 2019). Essa doença manifesta-se no hospedeiro por meio de necroses profundas e espalhadas em caules, folhas e frutos (Hassan *et al*., 2019).

Vick-do-cerrado (*protium ovatum*)

Conforme relatado por Marquesi e colaboradores (2010), a família *Burseraceae* é formada por 18 gêneros e cerca de 700 espécies, com distribuição predominante em regiões tropicais, especialmente na América Tropical, Malásia e noroeste da África. O gênero *Protium* é o mais representativo da família, com aproximadamente 150 espécies.

Protium ovatum Engl. é uma espécie considerada endêmica do Brasil, com ocorrência no Cerrado e cerradões, sendo mais comum nos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e na Amazônia, e menos frequente em Sergipe, Bahia e São Paulo (Castelo; Del Menezzi; Resck, 2010; Lima; Pirani, 2005). Trata-se de um arbusto que varia entre 0,4 e 4 metros de altura, com ramos glabros e poucas lenticelas. Suas folhas são ovaladas, glabras, com pecíolos de 3 a 5 cm; os folíolos são subcoriáceos, brilhantes e ovalados, com pecíolos de 0,3 a 1,1 cm, sendo os do par terminal mais longos e, às vezes, com tricomas escurecidos. As inflorescências medem cerca de 2,5 cm, com flores de 6 mm, 4-meras, de coloração verde-amarelada ou esverdeada (Lima; Pirani, 2005).

Óleo essenciais

Os óleos essenciais são compostos naturais também conhecidos como metabólitos secundários e exercem papel fundamental comparável ao dos metabólitos primários (Gottlieb *et al*., 1998; Gottlieb *et al*., 2012). Seus constituintes químicos apresentam grande diversidade e complexidade, sendo produzidos para garantir a adaptação das plantas ao ambiente, permitindo interações com outras plantas, herbívoros, patógenos, polinizadores, entre outros (Pereira *et al*., 2018; Sripathi; Jayagopal; Ravi, 2018; Isah *et al*., 2019). Santos e colaboradores (2021) citam, em seus estudos, exemplos de óleos essenciais com propriedades antifúngicas, antibacterianas, antivirais, antiparasitárias, antioxidantes e inseticidas, tornando-os uma fonte promissora de novas atividades biológicas.

Jacob e colaboradores (2017) relatam que os óleos essenciais, caracterizados por seu aroma marcante, podem ser extraídos de diversas partes das plantas, como folhas, frutos, raízes e cascas, e são amplamente utilizados nos setores farmacêutico, alimentício e cosmético. Eles pertencem à classe dos terpenos, como monoterpenos, sesquiterpenos e diterpenos, além de conterem compostos como aldeídos, cetonas, álcoois, lactonas, óxidos e aminas (SHANKAR *et al*., 2021). De acordo com Gobbo-Neto e Lopes (2017), sua composição química pode variar entre diferentes partes da planta e entre espécies. Fatores como local de cultivo, condições de coleta, estabilização, estocagem e clima também influenciam na composição dos óleos essenciais. Esses componentes são sintetizados por três vias biossintéticas: (I) a via do fosfato metileritritol (MEP), responsável pelos mono e diterpenos; (II) a via do ácido mevalônico, que gera os sesquiterpenos; e (III) a via do ácido chiquímico, que origina os fenilpropanoides.

MATERIAIS E MÉTODOS

Material vegetal

Os frutos verdes de *P. ovatum* foram coletados na região do Cerrado da Universidade de Rio Verde-(UniRV), no município de Rio Verde, no estado de Goiás, Brasil (17°47'12.0"S 50°57'55.7"W), em agosto de 2024, no período da manhã, entre 8h e 10h. A planta foi identificada e catalogada no herbário do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, Goiás, HRV10097.

Otimização do processo de extração do óleo essencial

Foram processados 100 g do fruto verde de *P. ovatum*, triturados, em 1500 mL de água por hidrodestilação em aparelho tipo Clevenger a 100 °C para extração do óleo essencial. O hidrolato passou por extração líquido-líquido com diclorometano, sendo a fase apolar filtrada e concentrada sob pressão reduzida. O rendimento do óleo foi calculado pela relação entre a massa obtida de óleo essencial e a massa inicial de frutos (T%= Massa do óleo (g)/massa dos frutos (*in natura*)*100), em intervalos de tempo de 60, 90, 120, 180, 210 e 240 minutos. A metodologia foi adaptada de Zhang e colaboradores (2014), e os dados foram analisados estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, em quadruplicata.

Identificação química do óleo essencial dos frutos verdes de *P. ovatum*

Foi realizada análise cromatográfica por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (GC-MS), utilizando o aparelho PerkinElmer® Clarus® SQT8, com uma coluna PerkinElmer® Elite-5ms (30 m x 0.25 mm I.D. x 0.25 µm). A temperatura da coluna foi programada com temperatura inicial de 60°C, com elevação da temperatura a 240°C, na razão de 3°C min^{-1}, e elevação a 280°C, com razão de 15°C min^{-1}. O gás de arraste foi o He, à taxa de fluxo de 20 $mL.min^{-1}$. A identificação dos compostos foi baseada nos índices de retenção (calculados com alcanos C7-C30) e na comparação dos espectros obtidos com as bibliotecas Nist 11, além de dados da literatura (Adams, 2007).

Atividade antifúngica do óleo essencial dos frutos verdes de *P. ovatum*

Os isolados de *Botrytis cinerea* (CCT1252) foram obtidos da Fundação André Tosello, em Campinas, São Paulo, Brasil. Já o isolado *Colletotrichum truncatum* foi fornecido pelo Centro de Pesquisa de Arroz e Feijão da Embrapa, localizado em Santo Antônio de Goiás, Goiás, Brasil.

A atividade antifúngica foi realizada conforme Xavier *et al*. (2016), com modificações. O óleo essencial dos frutos verdes de *P. ovatum* (OEPO), obtido por hidrodestilação de 180 minutos, foi avaliado quanto ao crescimento micelial nas concentrações de 20, 50, 70, 100 e 200 µL mL^{-1}, em água com o emulsificante Tween® 20 a 1% (p/v). A solução aquosa de Tween® 20 a 1% (p/v) foi utilizada como controle negativo, enquanto o fungicida (AGATA SC 10 µL mL^{-1}) para o controle positivo.Alíquotas de 100 µL das concentrações do óleo foram espalhadas sobre placas contendo meio de cultura Potato-Dextrose-Agar (PDA), esterilizado e solidificado, utilizando-se alça de Drigalski esterilizada. Após sete dias de cultivo dos fungos, discos miceliais de 5 mm de diâmetro de cada fungo foram colocados no centro das placas e incubados a 28 ± 3 °C, com fotoperíodo de 12 horas. As medições diárias do halo de crescimento micelial das colônias foram realizadas a partir de 24 horas após a inoculação até o crescimento total das colônias. A atividade antifúngica foi avaliada com base na média das repetições de cada tratamento em relação ao crescimento do controle, sendo calculada pela

porcentagem de inibição do crescimento micelial (Al-Reza *et al*., 2010), de acordo com a seguinte equação.

$$\text{PIC} = \frac{\text{Crescimento controle} - \text{Crescimento tratamento}}{\text{Crescimento controle}} \times 100\%$$

O experimento foi conduzido em quadruplicata, utilizando um delineamento inteiramente casualizado. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) no software R, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, com nível de significância de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O óleo essencial dos frutos verdes de *Protium ovatum* (OEPO) apresentou coloração incolor, com odor forte e característico. O OEPO obtido após 180 minutos de extração foi analisado por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas. A otimização do tempo de extração revelou rendimentos que variaram de 0,122% ± 0,03 (60 minutos) a 0,623% ± 0,05 (180 minutos) (Tabela 1). Os rendimentos alcançados em 180, 210 e 240 minutos foram superiores aos demais tempos testados. Embora não tenha sido identificada diferença estatística significativa entre esses intervalos, recomenda-se o tempo de hidrodestilação de 180 minutos, por apresentar rendimento de 0,623% ± 0,05, aliando eficiência a um menor período de extração.

Tabela 1. Volume do óleo essencial dos frutos verdes de *P. ovatum* em relação ao tempo de extração, partindo de 100 g de material vegetal.

Tempo de extração (min)	Volume de óleo essencial (%)
60	$0,122^{e} \pm 0,03$
90	$0,345^{d} \pm 0,03$
120	$0,489^{c} \pm 0,02$
150	$0,520^{b} \pm 0,04$
180	$0,623^{a} \pm 0,05$
210	$0,603^{a} \pm 0,05$
240	$0,596^{a} \pm 0,07$
*CV=	5,51%

*CV= Coeficiente de variação. Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Autoria própria (2025).

Foram identificados 15 compostos voláteis no OEPO, conforme mostrado na Tabela 2. Os principais compostos foram os sesquiterpenos germacreno D (24,9%), γ-muuroleno (19,8%); os monoterpenos β-mirceno (10,26%) e α-pineno (9,46%); e derivado de monoterpeno p-cimeno (8,23%) (Figura 1). Esses resultados corroboram estudos anteriores nos quais os monoterpenos e sesquiterpenos foram identificados como os principais constituintes dos óleos essenciais das folhas da espécie *P. ovatum* (Sousa *et al*., 2025; Estevam *et al*., 2017) e do óleo essencial das folhas secas (Rodrigues *et al*., 2023).

Sousa e colaboradores (2025) identificaram uma variação química significativa nos óleos essenciais extraídos das folhas de *P. ovatum* coletadas em diferentes áreas do Cerrado

goiano. Os compostos α-copaeno (4,01-12,03%), E-cariofileno (9,70-19,36%), α-humuleno (0,39-2,60%), germacreno D (0,88-21,04%) e δ-cadineno (6,36-8,89%) foram frequentemente detectados nas amostras provenientes de distintas localidades. Além disso, esses compostos também são reportados em óleos essenciais de outras espécies do gênero *Protium*, distribuídas em diferentes regiões geográficas. De acordo com Estevam e colaboradores (2017), o estudo químico do óleo essencial das folhas de *P. ovatum* encontrou como principais constituintes o espatulenol (17,6%), o óxido de cariofileno (16,4%), o β-cariofileno (14,0%) e o mirceno (8,4%). Já Rodrigues e colaboradores (2023) apontaram que os compostos predominantes no óleo essencial dos frutos verdes de *P. ovatum* foram o germacreno D (25,0%) e o γ-muuroleno (18,6%), sugerindo que esses compostos podem ser considerados marcadores químicos desse óleo essencial, uma vez que também foram os compostos majoritários identificados no presente estudo. Estevam e colaboradores (2018), ao analisarem o óleo essencial dos frutos verdes, verificaram que seus principais componentes foram β-mirceno (62,0%), α-pineno (11,3%) e limoneno (7,3%). Rodrigues e colaboradores (2022), ao realizar a análise química do óleo essencial de frutos maduros e imaturos, observaram que, nos frutos imaturos, as concentrações de limoneno, mirceno e α-pineno corresponderam a 36,2%, 30,1% e 16,7%, respectivamente. Por outro lado, no óleo essencial obtido dos frutos maduros, os teores desses compostos foram de 60,1%, 20,7% e 16,5%, nessa sequência. Diversos fatores amplamente reconhecidos, como temperatura, intensidade da luz, exposição à radiação ultravioleta, variações sazonais, estresse hídrico e salino, disponibilidade de nutrientes, fertilizantes no solo, concentração de dióxido de carbono, presença de herbívoros, patógenos e estágios de desenvolvimento das plantas, influenciam nas variações no teor e na composição química dos óleos essenciais (Neves; Santana; Krepsky, 2021).

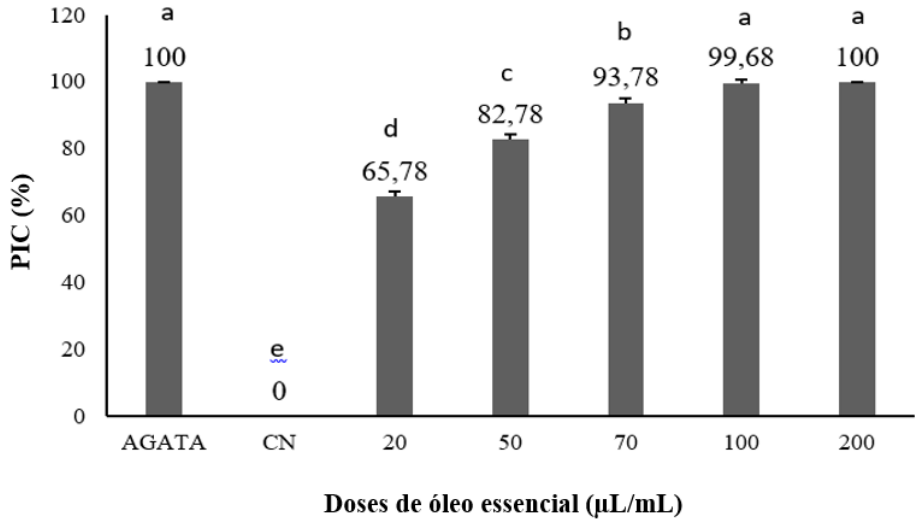
Tabela 2. Composição química do óleo essencial dos frutos verdes de *P. ovatum*.

Nome do composto	Área (%) CG-ES	IR^O	IR^L	Fórmula molecular
α-pineno	**9,46**	930	932	$C_{10}H_{16}$
β-pineno	1,19	974	970	$C_{10}H_{16}$
Sabineno	4,6	967	971	$C_{10}H_{16}$
β-mirceno	**10,26**	981	987	$C_{10}H_{16}$
δ-3-carene	1,13	1013	1008	$C_{10}H_{16}$
p-Cimeno	**8,23**	1019	1025	$C_{10}H_{14}$
Pirileno	0,81	1106	1103	$C_{16}H_{10}$
Pinocarvona	0,36	1158	1164	$C_{10}H_{14}O$
Terpinen-4-ol	0,2	1166	1173	$C_{10}H_{18}O$
α-Copaeno	0,19	1379	1375	$C_{15}H_{24}$
β-elemeno	0,28	1394	1389	$C_{15}H_{24}$
E-cariofileno	3,2	1417	1420	$C_{15}H_{24}$
α-humulene	1,02	1444	1452	$C_{15}H_{24}$
γ-muuroleno	**19,8**	1469	1477	$C_{15}H_{24}$
Germacreno D	**24,9**	1481	1480	$C_{15}H_{24}$
Total Identificados	**85,63%**			

*IR^O= Índice de retenção do óleo essencial dos frutos verdes de *P. ovatum* (OEPO). *IR^L= Índice de retenção da literatura. Autoria própria (2025).

Os dados relativos à atividade antifúngica OEPO contra o fungo *B. cinerea* estão ilustrados na (Figura 2). Todas as concentrações avaliadas demonstraram capacidade de inibir o crescimento micelial de *B. cinerea*, com uma resposta dependente da dosagem, e a taxa de inibição superou os 65%. As concentrações de 100 e 200 µL.mL^{-1} não apresentaram diferença significativa em comparação com o controle positivo (AGATA SC), sendo que a concentração de 200 µL.mL^{-1} resultou em uma inibição completa do crescimento.

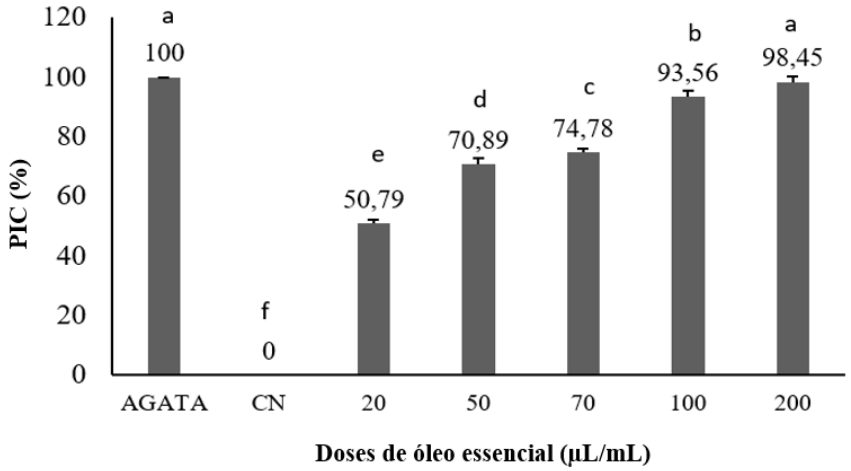
Figura 2: Percentual de inibição micelial do OEPO sobre o fungo *Botrytis cinerea*. CP: Controle positivo – AGATA; CN: Controle negativo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.



Fonte: Autoria própria (2025).

A Figura 3 apresenta a porcentagem de inibição do crescimento micelial do OEPO sobre o fungo *C. truncatum*. Observou-se uma diferença significativa entre todos os tratamentos. A taxa de inibição superou os 50%, além disso, verificou-se que a inibição aumentou conforme as concentrações do óleo essencial subiram, alcançando um valor de 98,45% na concentração de 200 µL.mL^{-1}.

Figura 3: Percentual de inibição micelial do OEPO sobre o fungo *C. truncatum a*. CP: Controle positivo - AGATA; CN: Controle negativo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.



Fonte: Autoria própria (2025).

O OEPO apresentou atividade antifúngica inédita contra todos os fungos testados, com comportamento dose-dependente da concentração. Os melhores resultados foram observados contra *B. cinerea*, em que a menor concentração testada (20 $\mu L.mL^{-1}$) foi capaz de inibir 65,78% do crescimento micelial, enquanto a maior concentração (200 $\mu L.mL^{-1}$) inibiu completamente o crescimento do fungo. Para ambos os fungos, a concentração testada de 50 $\mu L.mL^{-1}$ inibiu mais de 70% do crescimento dos fungos fitopatogênicos.

Sousa e colaboradores (2021) analisaram a composição química dos óleos essenciais de diferentes órgãos de *Protium ovatum* e seu potencial antifúngico contra *Sclerotinia sclerotiorum*. Os constituintes variaram entre os órgãos, destacando-se α-pineno, β-pineno, mirceno, limoneno, E-cariofileno, germacreno D e δ-cadineno. O óleo essencial do fruto maduro apresentou a maior atividade antifúngica, com 50,11% de inibição do crescimento micelial na menor concentração testada (18,75 $\mu g.mL^{-1}$). Rodrigues e colaboradores (2022) relatam que o óleo essencial dos frutos verdes foi levemente ativo (> 1000 µg/mL) contra espécies de *Candida ssp*.

Satyal e colaboradores (2027) extraíram e identificaram o óleo essencial da oleorresina de *Protium amazonicum*, que apresentou atividade antifúngica contra os fungos *Candida albicans*, *Cryptococcus neoformans* e *Aspergillus niger*, tendo como composto majoritário o monoterpeno δ-3-carene (47,9%). O fungo *C. neoformans* mostrou-se o mais sensível, com uma Concentração Inibitória Mínima (MIC) de 156 $\mu L.mL^{-1}$, indicando efeito antifúngico promissor. Os sesquiterpenos e monoterpenos encontrados em diferentes partes de plantas do gênero *Protium* exercem atividade antifúngica (Sousa *et al*., 2021; Satyal *et al*., 2017).

Os mecanismos de atividade antifúngica dos óleos essenciais são pouco compreendidos. Satyal e colaboradores (2017) sugerem que esses compostos hidrofóbicos desestabilizem as membranas citoplasmáticas ou as proteínas de membrana das células fúngicas, resultando em vazamento do citoplasma, lise celular e morte. Rodrigues e colaboradores (2023) descrevem que os óleos essenciais se ligam ao ergosterol, desestabilizando as membranas celulares fúngicas ao inibir sua biossíntese, assim, bloqueiam o crescimento de leveduras, interferindo na fase S do ciclo celular e na via de sinalização morfogenética das pseudo-hifas, prevenindo a formação de biofilmes resistentes.

CONCLUSÃO

A análise química do óleo essencial dos frutos verdes de *P. ovatum* revelou que os sesquiterpenos e monoterpenos foram os constituintes predominantes, sendo germacreno D e γ-muuroleno os principais compostos identificados. Em relação à atividade antifúngica, o OEPO demonstrou potencial contra *Botrytis cinerea* e *Colletotrichum truncatum* em todas as concentrações avaliadas, apresentando um comportamento dose-dependente. Este trabalho descreve, pela primeira vez, a otimização do processo de extração do óleo essencial em diferentes intervalos de tempo e a atividade antifúngica do OEPO contra os fungos fitopatogênicos *B. cinerea* e *C. truncatum*, contribuindo para o conhecimento da espécie, bem como para sua aplicação.

REFERÊNCIAS

ADAMS, R. P**. Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/quadrupole Mass Spectroscopy**. 4. ed. Allured Publishing Corporation, Carol Stream, 2007.

AL-REZA, S.; RAHMAN, M. A.; AHMED, Y.; CHULL, S. Inhibition of plant pathogens in vitro and in vivo with essential oil and organic extracts of *Cestrum nocturnum* L. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v.96, n. 2, p. 86-92, 2010.

BARIZON, R. R. M.; FIGUEIREDO, R. de O.; DUTRA, R. C. de S.; REGITANO, J. B.; FERRACINI, V. L. Pesticides in the surfasse waters of the Camanducaia River watershed, Brazil. Journal of Environmental Science and Health, v. 55, n. 3, p. 283-292, 2020.

CASTELO, A. V. M.; DEL MENEZZI, C. H. S.; RESCK, I. S. Yield and spectroscopic analysis (1H, 13C NMR; IR) of essential oils from four plants of the Brazilian Savannah. **Cerne**, v. 16, n. 4, p. 573–584, 2010.

ESTEVAM, E. B. B.; ALVES, C. C. F.; ESPERANDIM, V. R.; CAZAL, C. M.; SOUZA, A. F.; & MIRANDA, M. L. D. Chemical composition, anti-*Trypanosoma cruzi* and cytotoxic activities of the essential oil from green fruits of *Protium ovatum (BURSERACEAE)*. **Revista Brasileira de Fruticultura,** v. 40**,** n. 1, e-794, 2018.

ESTEVAM, E. B. B.; DEUS, I. P. B.; SILVA, V. P.; SILVA, E. A. J.; ALVES, C. C. F.; ALVES, J. M.; CAZAL, C. M.; MAGALHÃES, L.G.; PAGOTTI, M.C.; ESPERADIM, V. R.; SOUZA, A. F.; MIRANDA, M. L. D. Atividade antiparasitária *in vitro* e composição química do óleo essencial de folhas de *Protium ovatum* (*Burceraceae*). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 89. n. 4, p. 3005-3013, 2017.

GOBBO-NETO, L.; LOPES, N. P. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química Nova**, v. 30, n. 2, p. 374-381, 2007.

GOTTLIEB, O. R.; BORIN, M. R. de M. B. Químico-Biologia Quantitativa: um novo paradigma? **Química Nova**, v. 35, n. 11, p. 2105-2114, 2012.

GOTTLIEB, O. R.; BORIN, M. R. de M. B.; PAGOTTO, C. L. A. da C.; ZOCHER, D. H. T. Biodiversidade: o enfoque interdisciplinar brasileiro. **Ciências e Saúde Coletiva**, v. 3, n. 2, p.97-102, 1988.

HABIB, W.; SAAB, C.; MALEK, R.; KATTOURA, L.; ROTOLO, C.; GERGES, E.; BAROUDY, F.; POLLASTRO, S.; FARETRA, F.; DE MICCOLIS ANGELINI, R. M. Resistance profiles of *Botrytis cinerea* populations to several fungicide classes on greenhouse tomato and strawberry in Lebanon. **Plant Pathology,** v.69, n. 8, p. 1453-1468, 2020.

HASSAN, O.; LEE, Y. S.; CHANG, T. *Colletotrichum* Species Associated with Japanese Plum (*Prunus salicina*) Anthracnose in South Korea. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1-12, 2019.

ISAH, T. Stress and defense responses in plant secondary metabolites production. **Biological Research**, v. 52, p. 1-25, 2019.

JACOB, R. G.; OLIVEIRA, D. H.; DIAS, I. F. C.; SCHUMACHER, R. F.; SAVEGNAGO, L. Óleos Essenciais como Matéria-Prima Sustentável para o Preparo de Produtos com Maior Valor Agregado. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 1, p. 294-316, 2017.

LIMA, L. R.; PIRANI, J. R**. *Burseraceae***. Flora Fanerogâmica do Estado de São Paulo, v. 4, p. 163-168, 2005.

MARQUESI, D. D.; SARTORI, R. A.; LEMOSI, T. L. G.; MACHADO, L. L.; SOUZA, J. S. N.; MONTE, F. J. Q. Composição química dos óleos essenciais das duas subespécies de *P. heptaphyllum*. **Acta Amazonica**. v. 40, 2010.

MORAES, M. M.; CAMARA, C. A. G.; RAMOS, C. S. Seasonal variation in the essential oil of *Protium bahianum* Daly (*Burseraceae*). **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, Abingdon U.A.E, v.16, n.3, p. 300-307, 2013.

NEVES, D. S. C.; SANTANA, G. N.; KREPSKY, P. B. Variação intraespecífica na composição e teor do óleo essencial de *Lippia thymoides*. **Revista Fitos**, v.15, v. 2, p. 192-203, 2021.

PAUMGARTTEN, F. J. R. Pesticides and public health in Brazil, **Current Opinion in Toxicology**, v. 22, p. 7-11, 2020.

PEREIRA, K. de C.; QUINTELA, E. D.; SILVA, D. J.; NASCIMENTO, V. A.; ROCHA, D. V. M.; SILVA, J. F. A.; FORIM, M. R.; SILVA, F. G.; CAZAL, C. de M. Characterization of Nanospheres Containing *Zanthoxylum riedelianum* Fruit Essential Oil and Their Insecticidal and Deterrent Activities against *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). **Molecules**, v. 23, n. 8, 2018.

PETRASCH, S.; KNAPP, S. J.; KAN, J. A. L. V.; BLANCO-ULATE, B. Grey mould of strawberry, a devastating disease caused by the ubiquitous necrotrophic fungal pathogen *Botrytis cinerea*. **Molecular Plant Pathology**, v. 20, n. 6, p.877–892, 2019.

PIMENTEL, F. C.; ALVES, C. C. F.; FORIM, M. R.; MATOS, A. P.; SABBAG, G. O.; CAZAL, C. M. Chemical composition and antifungal activity of the essential oil from the *Hymenaea stigonocarpa* Mart. Ex Hayne (jatobá-do-cerrado) fruit peel. **Natural Product Research**, v. 37, p. 1-5, 2023.

PUTZKE, J.; PUTZKE, M. T. L. **Os reinos dos fungos**. 2.ed. Santa Cruz do Sul: Edunisc, p. 491, 2002.

RGUEZ, S.; SLIMENE, I. B.; ABID, G.; HAMM EMI, M.; KEFI, A.; ELKAHOUI, S.; KSOURI, R.; SELLAMI, I. H.; DJEBALI, N. Tetraclinis articulata essential oil reduces *Botrytis cinerea* infections on tomato. **Scientia Horticulturae**, v. 226, p. 109291, 2020.

RODRIGUES, G, B. C.; FERNANDES, C. C. F.; MARCIONÍLIO, S. M. L. O.; CASTRO, V. P.; ALVAREZ, C. M.; PIRES, R. H.; SANTIAGO, M. B.; PEDROSO, R. S.; MARTINS, C. H. G.; MIRANDA, M. L. D. Antifungal Activities of Essential Oils from *Protium ovatum* Engl. Against Malassezia furfur and Candida Species. **Orbital: Electron. J. Chem**., v. 14, n. 3, p. 176–81, 2022.

RAHMAN, M. U.; LIU, X.; WANG, X.; FAN, B. Grapevine gray mold disease: infection, defense and management. **Horticulture Research**, v.11, n. 9, uhae182, 2024.

RODRIGUES, G. B. C.; FERNANDES, C. C.; MARCIONILIO, S. M. L. O.; MARTINS, C. H. G.; PEDROSO, R. S.; SANTIAGO, M. B.; OLIVEIRA, T. A. S.; COSTA, M. P. P.; CROTTI, A. E. M.;

MIRANADA, M. L. D. Bioprospecção da Flora Aromática do Cerrado: Estudos Químicos e Biológicos de Três Óleos Essenciais. **Brazilian Archives of Biology Technology**, v.66, 2023.

ROGÉRIO, F.; GLADIEUX, P.; JUNIOR, N. S. M.; CIAMPI-GUILLARDI, M. Multiple introductions without admixture of *Colletotrichum truncatum* associated with soybean anthracnose in Brazil. **Phytopathology**, v. 109, n. 4, p. 681-689, 2019.

SANTOS, A. F.; JARDIM, M. F.; RAMOS, M. S.; BRITO, I. P. C.; ALMEIDA, C.; PORTO, B. C. Atividade antifúngica de óleos essenciais de alecrim (*Rosmarinus officinalis*) e cravo (*Syzygium aromaticum*) em pão de forma. **Recital - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara/MG**, v. 3, n. 2, p. 177–189, 2021.

SATYAL, P.; POWERS, C. N.; VAQUERO, R. P.; McFEERTERS, R. L.; SETZER, W. N. Chemical Composition, Enantiomeric Distribution, and Antifungal Activity of the Oleoresin Essential Oil of *Protium amazonicum* from Ecuador. **Medicines**, v. 4, n. 4, p. 70, 2017.

SIANI AC, RAMOS MF, MONTEIRO SS, DOS SANTOS RR, SOARES ROA. Essential oils of the oleoresins from Protium heptaphyllum growing in the Brazilian southeastern and their cytotoxicity to neoplasic cell lines. **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v.14, p. 373-378, 2011.

SHANKAR, S.; PRASAD, S.; OWAIZ, M.; YADAV, S.; MANHAS, S.; YAQOOB, M. Óleos essenciais, componentes e suas aplicações: uma revisão. **Plant Archives**, v.21, n. 1, p. 2027-2033, 2021.

SOTO, N.; HERNÁNDEZ, Y.; DELGADO, C.; ROSABAL, Y.; ORTIZ, R.; VALENCIA, L.; BORRÁS-HIDALGO, O.; PUJOL, M.; ENRÍQUEZ, G. A. Field resistance to *Phakopsora pachyrhizi* and *Colletotrichum truncatum* of transgenic soybean expressing the plant defensin NmDef02. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 562, 2020.

SOUSA, W. C.; FILHO, J. G. O.; ALVES, C. C. F.; FORIM, M. R.; CAZAL, C. M. Chemical composition and antifungal potential of essential oils from different aerial parts of *Protium ovatum* Engl. **Australian Journal of Crop Science**, v. 15, n. 4, p. 570-576, 2021.

SOUSA, W. C.; FILHO, J. G. O.; PEREIRA, A. K.; SILVA, S. S.; KASSAB, G.; CHRISTOFOLI, M.; ALVES, C. C. F.; MATOS, A. P.; FORIM, M. R.; CAZAL, C. M. Composition, antioxidant capacity and antimicrobial activity of volatile organic compounds of *Protium ovatum* eng. from different regions in brazilian savannah. **Química Nova**, v. 48, n. 2, p. 1-7, 2025.

SRIPATHI, R.; JAYAGOPAL, D.; RAVI, S. Study on the seasonal variation of the essential oil composition from *Plectranthus hadiensis* and its antibacterial activity. **Natural Product Research**, v. 32, n. 7, p. 871-874, 2018.

TURAN, V.; SCHRÖDER, P.; BILEN, S.; INSAM, H.; MARINA F ERNÁNDEZ-DELGADO JUÁREZ, M. F. D. Co-inoculation effect of *Rhizobium* and *Achillea millefolium* L. oil extracts on growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and soil microbial-chemical properties. **Scientific Reports**, v. 9, n.1, p. 1-10, 2019.

VITOR, D. M.; MEDEIROS, H. S.; SOARES, N. de F. F.; MEDEIROS, E. A. A. Evaluation of active paper in conservation and postharvest quality of strawberry. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.14, n.4, 2019.

WANG, P.; MA, L.; JIN, J.; ZHENG, M.; PAN, L.; ZHAO, Y.; SUN, X.; LIU, Y. XING, F. The anti-aflatoxigenic mechanism of cinnamaldehyde in *Aspergillus flavus*. **Scientific Reports**, v, 9, n.1, 2019.

ZACCARDELLI, M.; PANE, C.; PAUTO, M.; DURAZZO, A.; LUCARINI, M.; SILVA, A. M.; SEVERINO, P.; SOUTO, E. B.; SANTINI, A.; de FEO, V. Sage Species Case Study on a Spontaneous Mediterranean Plant to Control Phytopathogenic Fungi and Bacteria. **Forests**, v. 11, n. 6, p.704, 2020.

ZHANG, Z.; HAN, Z.; WEI, J.; XUE, J.; YANG, Y.; LIANG, L.; LI, X.; GUO, Q.; XU, Y.; GAO, Z. Compositions and Antifungal Activities of Essential Oils from Agarwood of *Aquilaria sinensis* (Lour.) Gilg Induced by *Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griffon. & Maubl. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 25, n. 1, p. 20-26, 2014.