

Entrophospora etunicata* AUMENTA A CONCENTRAÇÃO DE FENOIS TOTAIS E A ATIVIDADE ANTIOXIDANTE CAULINARES EM MUDAS DE *Schinus terebinthifolia

**Jefferlone Lopes da Silva Filho¹, Caio Bezerra Barreto^{1,2},
Fábio Sérgio Barbosa da Silva^{1,2}**

¹Laboratório de Análises, Pesquisas e Estudos em Micorrizas, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil. (jefferlone.silvafilho@upe.br)

²Programa de Pós-graduação em Biologia Celular e Molecular Aplicada, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil.

Resumo: Foi avaliado o efeito de isolados micorrízicos sobre a concentração de fenois e a atividade antioxidante no caule de mudas de *S. terebinthifolia*, espécie de interesse medicinal. Após 191 dias de cultivo, *Entrophospora etunicata* aumentou o acúmulo de fenois totais e a capacidade antioxidante em 48 % e 35 %, respectivamente, em comparação às plantas não inoculadas, sendo o isolado mais eficiente.

Palavras-chave: *Anacardiaceae*; Compostos fenólicos; DPPH; *Glomeromycota*

INTRODUÇÃO

Plantas medicinais constituem uma das principais fontes de compostos bioativos naturais, sendo amplamente empregadas tanto nas medicinas tradicionais quanto contemporâneas, em diferentes regiões do mundo (Suri et al., 2024). Contudo, o uso sustentável desses recursos naturais tem sido ameaçado pelo crescimento da população global, perda de biodiversidade vegetal e práticas de cultivo inadequadas, como o uso excessivo de fertilizantes inorgânicos (Kamra et al., 2025). Nesse contexto, abordagens biotecnológicas têm sido exploradas como estratégias promissoras para otimização da produção de metabólitos secundários em plantas com propriedades fitoterápicas (Mahmoudieh et al., 2024).

Dentre as plantas de interesse medicinal, *Schinus terebinthifolia* Raddi destaca-se por estar elencada na Farmacopeia Brasileira (ANVISA, 2024) e na Relação Nacional de Plantas Medicinais de Interesse ao SUS (RENISUS) (Brasil, 2009). Tal espécie é conhecida popularmente como aroeira-pimenteira, uma arbórea pertencente à família *Anacardiaceae* e com ampla distribuição pelo território brasileiro (Flora e Funga do Brasil, 2026); a fitomassa dessa planta tem propriedades antimicrobianas (Vasconcelos et al., 2022) e anti-inflamatórias (Nascimento et al., 2023), a qual compõe cosméticos (Sanativo®) e fitoterápicos (Kronel®).

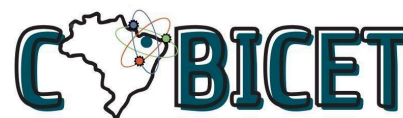
Tais propriedades terapêuticas estão associadas ao acúmulo de compostos fenólicos (Nascimento et al.,

2023), grupo de metabólitos secundários que possuem um anel aromático ligado a pelo menos uma hidroxila (Alara et al., 2021). Embora produzidos em concentrações menores, quando comparados aos metabólitos primários (Bourgaud et al., 2001), os fenois são determinantes para a sobrevivência vegetal, atuando diretamente na proteção contra herbivoria (Sonbol et al., 2025) e na mitigação de estresses oxidativos causados por fatores ambientais (Mohagheghian et al., 2025).

Os mecanismos antioxidantes dos compostos fenólicos consistem na neutralização de moléculas oxidantes, juntamente com o processo de quelagem de íons metálicos (Saini et al., 2024; Edo et al., 2025). Tal mecanismo é viabilizado pela presença dos grupos hidroxilas (-OH), que conferem a essas moléculas a capacidade de atuar como doadoras de hidrogênio ou de elétrons para espécies reativas (Wright et al., 2001). Ao atuarem como potentes antioxidantes, compostos fenólicos reduzem reações em cadeia de oxidação, como a peroxidação lipídica (Kancheva et al., 2021).

Além disso, tais bioativos antioxidantes são investigados como alternativas para auxiliar o tratamento de doenças cardiovasculares, distúrbios degenerativos e alguns tipos de câncer (Pratheeshkumar et al., 2012; Balakrishnan et al., 2016; Rudrapal et al., 2024).

Portanto, opções que incrementem a produção de bioativos fenólicos antioxidantes são relevantes para o cultivo de espécies medicinais, como *S. terebinthifolia*. Nesse cenário, uma alternativa para



potencializar a síntese desses bioativos antioxidantes, é a utilização de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) (Oliveira et al., 2013; Schoen et al., 2021; Barreto et al., 2025a). Esses são microrganismos benéficos do solo, pertencentes ao filo *Glomeromycota* (Wijayawardene et al., 2024), são capazes de ampliar a área de absorção de nutrientes (Sun et al., 2022), de modular o anabolismo vegetal (Wu et al., 2023) e de alterar atributos rizosféricos (Falcão et al., 2023).

A biotecnologia micorrízica, quando aplicada no cultivo de *S. terebinthifolia*, aumenta o crescimento vegetal (Oliveira Júnior et al., 2022), a absorção de nutrientes (Goetten et al., 2016), otimizando parâmetros fotossintéticos (Fernandes et al., 2021). Embora o aumento da produção de compostos fenólicos e da atividade antioxidante em tecidos foliares, utilizando consórcios micorrízicos, tenha sido documentado (Barreto et al., 2025a), ainda não é conhecido o efeito da aplicação individualizada de isolados de FMA sobre a produção de fenois totais e a atividade antioxidante nos tecidos caulinares de mudas de aroeira-pimenteira (Barreto et al., 2025b).

Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo investigar o efeito da inoculação micorrízica sobre o acúmulo de fenois e a atividade antioxidante caulinares de mudas de *S. terebinthifolia*, sendo testada a hipótese de que a utilização de FMA aumenta a concentração de compostos fenólicos e a atividade antioxidante do caule de mudas de *S. terebinthifolia*.

MATERIAL E MÉTODOS

O cultivo das mudas de aroeira-pimenteira foi conduzido no *Campus* Santo Amaro, no Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Pernambuco, Recife, PE – Brasil. As análises fitoquímicas foram realizadas no Laboratório de Análises, Pesquisas e Estudos em Micorrizas (LAPEM), localizado na mesma instituição.

Para a condução do experimento, quantificação de fenois totais e avaliação da atividade antioxidante pelo método de captura do radical livre 2,2-difenil-1-picril-hidrazil (DPPH), foram utilizados os seguintes equipamentos: autoclave analógica (Stermax Produtos Médicos Ltda, Pinhais, Paraná - Brasil), balança analítica (BEL Engineering®, Monza - Itália), balança semi-analítica (Marte Científica & Instrumentação Industrial Ltda, Santa Rita do Sapucaí, Minas Gerais - Brasil), banho ultrassônico (SolidSteel®, Piracicaba, São Paulo - Brasil), espectrofotômetro (Thermo Fisher Scientific®, Franklin, Massachusetts - Estados Unidos), estufa de secagem (Quimis®, Diadema, São Paulo - Brasil), geladeira (Electrolux Comércio Virtual de Eletrodomésticos Ltda., Curitiba, Paraná - Brasil),

pipetadores eletrônicos (Blue-Ray Biotech. Corp. Ltda, Distrito de Xindian, Nova Taipé – Taiwan e Eppendorf®, Hamburg - Alemanha), e vórtex (Biomixer Ltd, Morumbi, São Paulo - Brasil).

Além disso, utilizaram-se os seguintes reagentes: ácido gálico (Dinâmica®, Indaiatuba, São Paulo - Brasil), álcool etílico (Química Moderna®, Santana de Parnaíba, São Paulo - Brasil), álcool metílico (Neon®, Suzano, São Paulo - Brasil), carbonato de sódio (Vetec®, Duque de Caxias, Rio de Janeiro - Brasil), DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) (Sigma-Aldrich®, Barueri, São Paulo - Brasil) e Folin-Ciocalteu (Merck®, Darmstadt - Alemanha).

Para montagem do experimento, foram utilizados os seguintes insumos: areia lavada (Granumix®, Vitória de Santo Antão, Pernambuco - Brasil), bandejas de plástico (PLEION Indústria e Comércio de Plásticos Ltda, Barueri, São Paulo - Brasil), papel filtro qualitativo Framex (Frama Papéis Filtrantes Ltda, Consolação, São Paulo - Brasil), papel interfolhado Klenex (Kimberly-Clark Brasil Indústria e Comércio de Produtos de Higiene Ltda, Mogi das Cruzes, São Paulo - Brasil), sementes de *S. terebinthifolia* (Germiverde Comércio de Sementes Ltda., Buritama, São Paulo - Brasil) e vermiculita (Urimamã Mineração Ltda, Santa Maria da Boa Vista, Pernambuco - Brasil).

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos de inoculação micorrízica: controle sem inoculação, inoculado com *Acaulospora longula* Spain & N.C. Schenck, inoculado com *Dentiscutata heterogama* (T.H. Nicolson & Gerd.) Sieverd., F.A. Souza & Oehl, e inoculado com *Entrophospora etunicata* (W.N. Becker & Gerd.) Błaszk., Niezgodna, B.T. Goto & Magurno. Cinco repetições por tratamento foram utilizadas, totalizando 20 unidades experimentais. As espécies de FMA utilizadas encontram-se registradas no SisGen (Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado) sob o código ABC3019.

O substrato de cultivo das mudas utilizado foi composto por uma mistura de 120 mL de vermicomposto, combinados com 540 mL de areia e 540 mL de vermiculita. Tal composição apresentou as seguintes caracterizações químicas: P: 11,1 mg/dm³; pH: 5,50; Ca: 1,00 cmolc/dm³; Mg: 1,10 cmolc/dm³; Na: 0,15 cmolc/dm³; K: 0,14 cmolc/dm³; Al: 0,15 cmolc/dm³; S: 2,4 cmolc/dm³; Capacidade de Troca Catiônica (CTC): 5,9 cmolc/dm³ e saturação por alumínio (m): 6 %.

Os FMA utilizados foram previamente multiplicados em uma mistura de areia e vermiculita esterilizada (1:1, v/v), utilizando *Panicum miliaceum* L. como hospedeiro (Silva et al., 2005). O procedimento consistiu no cultivo de *P. miliaceum* em potes com o

substrato acrescido de solo-inóculo contendo 100 glomerosporos. As sementes foram previamente desinfestadas com solução de NaClO a 0,05 % (2 % de cloro ativo), lavadas com água destilada e colocadas para germinar diretamente no substrato de cultivo. Abaixo das sementes, foi adicionado o solo-inóculo contendo *A. longula* ou *D. heterogama* ou *E. etunicata*. As plantas foram mantidas em telado experimental sob fotoperíodo natural ($T_{\min}$: 25,4 °C; $T_{\max}$: 37,4 °C) e umidade relativa entre 67,5 % e 95 %, sendo irrigadas com solução nutritiva adicionada de tampão 50 mM de Tris-HCl, pH 6,5 (Hoagland e Arnon, 1950, modificado por Silva et al., 2005). Após 64 dias de multiplicação, a parte aérea foi descartada, e as raízes foram cortadas e homogeneizadas ao substrato. O solo-inóculo seco resultante foi armazenado sob refrigeração a 4 °C até sua aplicação (Silva et al., 2007). A infectividade dos inóculos foi determinada pelo método de percentagem média de infecção (MIP) (INVAM, 2026): *A. longula* teve cerca de 53 % de infectividade, enquanto *D. heterogama* e *E. etunicata* alcançaram índices de cerca de 6 % e de 37 %, respectivamente.

As plântulas de *S. terebinthifolia* foram obtidas a partir de sementes adquiridas comercialmente, que foram desinfestadas com NaClO (0,05 %), durante dois minutos, sendo posteriormente lavadas com água destilada. Após esse processo, as sementes foram transferidas para bandejas contendo vermiculita previamente autoclavada (121 °C, 30 min) para a germinação.

Quando transplantadas para o substrato de cultivo, plântulas que apresentavam duas folhas definitivas foram inoculadas com solo-inóculo contendo cerca de 300 glomerosporos dos FMA testados, de acordo com os tratamentos de inoculação estabelecidos. As plântulas do grupo controle receberam apenas um filtrado isento de glomerosporos (Cavalcante et al., 2002). Durante o terceiro e o quinto meses de cultivo, as plantas foram irrigadas com solução nutritiva sem Tris-HCl (Hoagland e Arnon, 1950, modificado por Silva et al., 2005).

Após o período de cultivo de 191 dias ($T_{\min}$ 23,1 °C; $T_{\max}$ 34,8 °C; $UR_{\min}$ 56 %; $UR_{\max}$ 97 %), o caule foi estabilizado termicamente a 45 °C por três dias e 0,1 g foram seccionados em fragmentos de cerca de 1 cm e submetidos à maceração química por doze dias, utilizando 20 mL de etanol 70 % como solvente extrator. Os extratos obtidos foram filtrados em papel filtro qualitativo e armazenados a -18 °C até o momento do doseamento de metabólitos e avaliação da atividade antioxidante *in vitro*.

Os fenois totais foram quantificados pelo método de oxirredução do Folin-Ciocalteu (Orujei et al., 2013, modificado). Foram adicionados, em frascos âmbar,

200 µL do extrato vegetal, 1 mL do reagente de Folin-Ciocalteu 10 % (v/v, em água) e 800 µL de carbonato de sódio 7,5 % (p/v, em água). A solução foi agitada em vórtex e deixada em repouso por 30 minutos ao abrigo da luz. Realizou-se a leitura espectrofotométrica no comprimento de onda de 765 nm, utilizando a curva padrão do ácido gálico ($y = 0,0071x + 0,0352$; $R^2 = 0,9976$).

A atividade antioxidante *in vitro* foi avaliada pelo método de captura do radical livre DPPH (Rufino et al., 2007). Foram adicionados, em frascos âmbar, 100 µL do extrato vegetal e 3,9 mL de DPPH 0,06 mM em metanol. A solução foi agitada em vórtex e deixada em repouso por 30 min. Em seguida, foi feita a leitura em espectrofotômetro no comprimento de onda de 515 nm. Os dados obtidos foram expressos em concentração eficiente (EC_{50} g planta g⁻¹ DPPH).

Uma esquematização das avaliações pode ser visualizada na Figura 1.

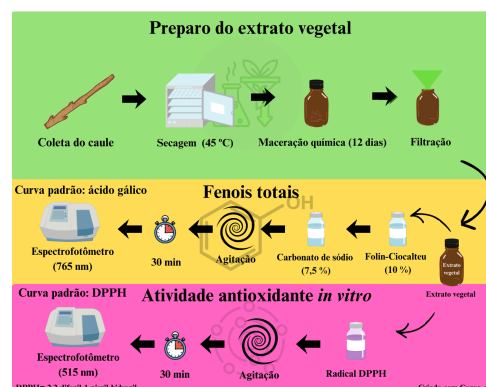


Figura 1: Esquema da obtenção do extrato vegetal, da quantificação de fenois totais e da captura do radical livre 2,2-difenil-1-picril-hidrazil (DPPH).

Imagem criada com recursos do Canva.com.

Os dados obtidos foram submetidos à ANOVA e tiveram suas médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), utilizando o software Assistat (ver. 7.7 beta, 2016). Os dados de atividade antioxidante foram transformados por $\log(x)$ para atender às premissas da ANOVA. Utilizou-se o teste de Shapiro-Wilk para verificar a normalidade dos dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A inoculação de *E. etunicata* favoreceu o acúmulo de fenois totais caulinares em mudas de *S. terebinthifolia* (Figura 2).

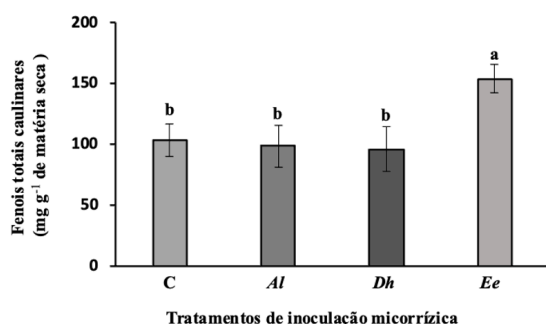


Figura 2. Concentração (mg g^{-1} de matéria seca) de fenóis totais no caule de mudas de *Schinus terebinthifolia* Raddi não inoculadas (C), inoculadas com *Acaulospora longula* Spain & N.C. Schenck (Al), inoculadas com *Dentiscutata heterogama* (T.H. Nicolson & Gerd.) Sieverd., F.A. Souza & Oehl (Dh) e inoculadas com *Entrophospora etunicata* (W.N. Becker & Gerd.) Błazsk., Niezgodą, B.T. Goto & Magurno (Ee), após cultivo durante 191 dias em telado experimental. CV = 15,37 %. Médias ($n=5$; barras = desvio padrão) seguidas da mesma letra não diferem, de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$). CV = coeficiente de variação.

Plantas associadas com *E. etunicata* destacaram-se por incrementar o acúmulo de fenóis totais em cerca de 50 %, quando comparadas às plantas sem inoculação (Figura 2). Por outro lado, mudas inoculadas com *A. longula* e com *D. heterogama* não acumularam esses metabólitos de modo diferenciado em comparação às plantas controle.

Em relação à atividade antioxidante, *E. etunicata* também foi o FMA mais eficiente, com incrementos de cerca de 35 % em relação às plantas que não receberam inóculo micorrízico (Figura 3).

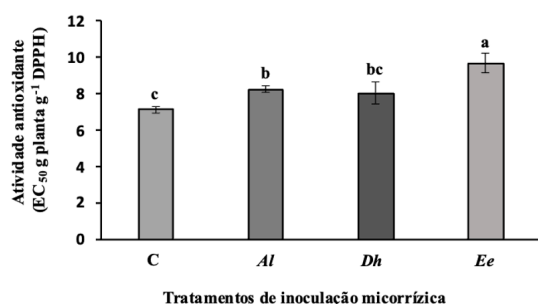


Figura 3. Atividade antioxidante total (EC_{50} g planta $^{-1}$ DPPH) do caule de mudas de *Schinus terebinthifolia* Raddi não inoculadas (C), inoculadas com *Acaulospora longula* Spain & N.C. Schenck (Al), inoculadas com *Dentiscutata heterogama* (T.H. Nicolson & Gerd.) Sieverd., F.A. Souza & Oehl (Dh) e inoculadas com *Entrophospora etunicata* (W.N. Becker & Gerd.) Błazsk., Niezgodą, B.T. Goto & Magurno (Ee), após cultivo durante 191 dias em telado experimental. CV = 3,57 %. Médias ($n=5$;

barras = desvio padrão) seguidas da mesma letra não diferem de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

CV = coeficiente de variação.

Tais resultados contrastam com os verificados por Barreto et al. (2025a), os quais não observaram maior acúmulo de compostos fenólicos em folhas de mudas de *S. terebinthifolia* associadas a *E. etunicata*. Isso traduz que a eficiência de isolados micorrízicos em incrementar a produção de bioativos pode variar de acordo com o órgão vegetal.

O incremento no acúmulo de compostos fenólicos por meio da utilização de isolados micorrízicos (Figura 2), como observado no presente trabalho, também foi documentado em *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz (Santos et al., 2017), destacando a biotecnologia micorrízica como uma opção sustentável para o cultivo de plantas medicinais da Caatinga com fitomassa mais concentrada de compostos promotores de saúde.

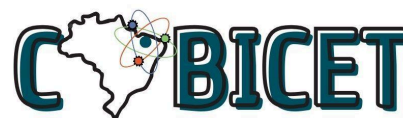
O incremento da atividade antioxidante *in vitro* observado pode ser explicado pela maior produção de compostos fenólicos (Figuras 2 e 3), cujas propriedades antioxidantes são documentadas (Denev et al., 2019; El-Massry et al., 2009). Essa resposta fisiológica também pode ser explicada pela melhoria do aporte nutricional, especialmente de P (Adeyemi et al., 2021). Tal macronutriente compõe moléculas essenciais, como ATP e NADPH (Khan et al., 2023), que atuam como substratos energéticos ou agentes redutores nas vias do ácido chiquímico e dos fenilpropanoides (Grace e Logan, 2000).

O expressivo acúmulo de compostos fenólicos e a potencialização da atividade antioxidante nas plantas inoculadas com *E. etunicata* (Figuras 2 e 3) podem ser explicados por uma maior compatibilidade funcional com *S. terebinthifolia* para a otimização do anabolismo vegetal, quando comparados aos representantes de *Gigasporaceae* e de *Acaulosporaceae* avaliados (Goetten et al., 2016; Schoen et al. 2021).

Além da importância medicinal associada ao aumento da concentração de compostos fenólicos (Silva et al., 2017; Rocha et al., 2019), registrada no presente estudo (Figura 2), a inoculação de FMA pode potencializar o estabelecimento das mudas, uma vez que plantas micorrizadas podem apresentar maior sobrevivência em campo (Fernandes et al., 2021).

Assim, a hipótese de que a utilização de FMA otimiza o acúmulo de fenóis e a atividade antioxidante foi parcialmente corroborada, uma vez que nem todos os isolados promoveram benefício ao metabolismo caulinar de mudas de *S. terebinthifolia*.

Dessa forma, torna-se relevante avaliar outros ensaios antioxidantes *in vitro*, como a redução do



complexo fosfomolibdênico (Carvalho et al., 2024) e a capacidade de captura do radical ABTS^{•+} [ácido 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6- sulfônico)] (Falcão et al., 2023), de modo a testar a eficiência de *E. etunicata* em favorecer esse parâmetro, considerando ensaios com condições de reação de acidez e de polaridade diferentes (Shahidi e Samarasinghe, 2025).

CONCLUSÃO

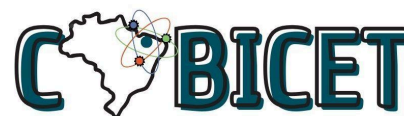
A utilização de *E. etunicata* é uma estratégia biotecnológica para a obtenção de caules de mudas de *S. terebinthifolia* com maior acúmulo de fenois totais e com atividade antioxidante otimizada.

AGRADECIMENTOS

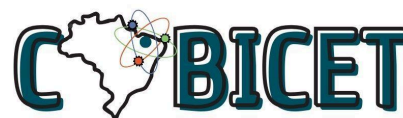
Os autores agradecem ao Programa de Fortalecimento Acadêmico da Universidade de Pernambuco (PFAUPE), pela concessão da bolsa de Iniciação Científica a Jefferlone Lopes da Silva Filho, à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), pela concessão da bolsa de doutorado a Caio Bezerra Barreto (IBPG-0037-2.02/25), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de produtividade em pesquisa a Fábio Sérgio Barbosa da Silva (306119/2024-2) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

- Adeyemi, N. O. et al. Influence of different arbuscular mycorrhizal fungi isolates in enhancing growth, phosphorus uptake and grain yield of soybean in a phosphorus deficient soil under field conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 52, p. 1171-1183, 2021.
- Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Farmacopeia Brasileira, 7ª edição (Volume II – Monografias, Plantas Medicinais). Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasília, DF. 2024.
- Alara, O. R. Extraction of phenolics compounds: A review. *Current Research in Food Science*, v. 4, p. 200-214, 2021.
- Balakrishnan, S. N. et al. Gold nanoparticle-conjugated quercetin inhibits epithelial-mesenchymal transition, angiogenesis and invasiveness via EGFR/VEGFR-2-mediated pathway in breast cancer. *Cell Proliferation*, v. 49, p. 678-697, 2016.
- Barreto, C. B. et al. Bioactive plant secondary metabolite production enhanced by AMF choice in mixed inoculum. *Rhizosphere*, v. 36, p. 101198, 2025a.
- Barreto, C. B. et al. Does mycorrhizal biotechnology modulate lectin accumulation in the stem of *Schinus terebinthifolia* Raddi seedlings? *ACS Omega*, v. 10, p. 43291-43299, 2025b.
- Bourgaud, F. et al. Production of plant secondary metabolites: a historical perspective. *Plant Science*, v. 161, p. 839-851, 2001.
- Brasil. Relação Nacional de Plantas Medicinais de Interesse ao Sistema Único de Saúde (ReniSUS) / Ministério da Saúde, Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos, Departamento de Assistência Farmacêutica. 2009.
- Carvalho, J. G. L. et al. Separate application of vermicompost and mycorrhization enhances antioxidant production and SPF in *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan seedlings. *Microbiology Research*, v. 15, p. 2713-2725, 2024.
- Cavalcante, U. M. T. et al. Efeito de fungos micorrízicos arbusculares, da adubação fosfatada e da esterilização do solo no crescimento de mudas de maracujazeiro amarelo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, p. 1099-1106, 2002.
- Chen, S. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) increase growth and secondary metabolism in cucumber subjected to low temperature stress. *Scientia Horticulturae*, v. 160, p. 222-229, 2013.
- Denev, P. et al. Black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) polyphenols reveal different antioxidant, antimicrobial and neutrophil-modulating activities. *Food Chemistry*, v. 284, p. 108-117, 2019.
- Edo, G. I. et al. A review on the composition, extraction and applications of phenolic compounds. *Ecological Frontiers*, v. 45, p. 7-23, 2025.
- El-Massry, K. F. et al. Chemical compositions and antioxidant/antimicrobial activities of various samples prepared from *Schinus terebinthifolius* leaves cultivated in Egypt. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 57, p. 5265-5270, 2009.
- Elsafy, M. et al. Unveiling the influences of P fertilization on bioactive compounds and antioxidant activity in grains of four sorghum cultivars. *PLoS ONE*, v. 19, p. e0311756-e0311756, 2024.
- Falcão, E. L. et al. Soil microbial respiration and pH modulated by arbuscular mycorrhizal fungi influence the biosynthesis of health-promoting



- compounds in *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. *Rhizosphere*, v. 26, p. 100685, 2023.
- Fernandes, M. M. et al. The inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi improved ecophysiological and growth parameters of *Schinus terebinthifolius* and *Caesalpinia ferrea* in degraded mining sites. *Environmental Challenges*, v. 4, p. 100181, 2021.
- Flora e Funga Do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB15471>>. Acesso em: 9 mar. 2026.
- Goetten, L. C. et al. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi inoculum produced on-farm and phosphorus on growth and nutrition of native woody plant species from Brazil. *Acta Botanica Brasilica*, v. 30, p. 9-16, 2016.
- Grace, S.; Logan, B. K. Energy dissipation and radical scavenging by the plant phenylpropanoid pathway. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, v. 355, p. 1499-1510, 2000.
- Hoagland, D. R.; Arnon, D. I. The water-culture method for growing plants without soil. Circular. California Agricultural Experiment Station, v. 347, p. 1-32, 1950.
- Kamra, J. et al. A comprehensive review on biotechnological approaches for improvement of medicinal plants: techniques for qualitative and quantitative production. *3 Biotech*, v. 15, p. 435, 2025.
- Kancheva, V. D. et al. Natural chain-breaking antioxidants and their synthetic analogs as modulators of oxidative stress. *Antioxidants*, v. 10, p. 624, 2021.
- Khan, F. et al. Phosphorus plays key roles in regulating plants' physiological responses to abiotic stresses. *Plants*, v. 12, p. 2861, 2023.
- Mahmoudieh, M. et al. Biotechnological approaches in the production of plant secondary metabolites for treating human viral diseases: Prospects and challenges. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v. 59, p. 103249, 2024.
- Mohagheghian, B. et al. Phenolic compounds, antioxidant enzymes, and oxidative stress in barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes under field drought-stress conditions. *BMC Plant Biology*, v. 25, p. 709, 2025.
- Nascimento, M. S. et al. *Schinus terebinthifolius* Raddi (Brazilian pepper) leaves extract: *in vitro* and *in vivo* evidence of anti-inflammatory and antioxidant properties. *Inflammopharmacology*, v. 31, p.2505-2519, 2023.
- Oliveira Júnior, J. Q. D. et al. A mixture of arbuscular mycorrhizal fungi favors Brazilian pepper seedlings under an intermediate level of soil phosphorus. *Revista Caatinga*, v. 35, p. 641-648, 2022.
- Oliveira, M. S. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) affects biomolecules content in *Myracrodruon urundeuva* seedlings. *Industrial Crops and Products*, v. 50, p. 244-247, 2013.
- Orujei, Y. et al. Induction of glycyrrhizin and total phenolic compound production in licorice by using arbuscular mycorrhizal fungi. *Russian Journal of Plant Physiology*, v. 60, p. 855-860, 2013.
- Pereira, D. et al. Phenolics: From chemistry to biology. *Molecules*, v. 14, p. 2202-2211, 2009.
- Pouyu-Rojas, E. et al. Compatibilidade simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares com espécies arbóreas tropicais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, p. 413-424, 2006.
- Pratheeshkumar, P. et al. Quercetin inhibits angiogenesis mediated human prostate tumor growth by targeting VEGFR- 2 regulated AKT/mTOR/P70S6K signaling pathways. *PLoS ONE*, v. 7, p. e47516, 2012.
- Prior, R. L. et al. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 53, p. 4290-4302, 2005.
- Rocha, P. S. et al. Microbiological quality, chemical profile as well as antioxidant and antidiabetic activities of *Schinus terebinthifolius* Raddi. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, v. 220, p. 36-46, 2019.
- Rudrapal, M. et al. Dietary polyphenols: Review on chemistry/sources, bioavailability/metabolism, antioxidant effects, and their role in disease management. *Antioxidants*, v. 13, p. 429, 2024.
- Rufino, M. S. M. et al. Comunicado Técnico 127, Embrapa, Fortaleza. 2007.
- Saini, N. et al. Exploring phenolic compounds as natural stress alleviators in plants- A comprehensive review. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, v. 133, p. 102383, 2024.
- Santos, E. L. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi increase the phenolic compounds concentration in the bark of the stem of *Libidibia Ferrea* in field conditions. *The Open Microbiology Journal*, v. 11, p. 283-291, 2017.



- Schoen, C. et al. Inter and intra-specific variability in arbuscular mycorrhizal fungi affects hosts and soil health. *Symbiosis*, v. 85, p. 273-289, 2021.
- Shahidi, F. et al. Phenolic antioxidants. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 32, p. 67-103, 1992.
- Shahidi, F., Samarasinghe, A. How to assess antioxidant activity? advances, limitations, and applications of *in vitro*, *in vivo*, and *ex vivo* approaches. *Food Production, Processing and Nutrition*, v. 7, p. 1-107, 2025.
- Silva, F. S. B. et al. Production and infectivity of inoculum of arbuscular mycorrhizal fungi multiplied in a substrate supplemented with Tris-HCl buffer. *Brazilian Journal of Microbiology*, v. 38, p. 752-755, 2007.
- Silva, F. S. B. et al. Sporulation of arbuscular mycorrhizal fungi using Tris-HCl buffer in addition to nutrient solutions. *Brazilian Journal of Microbiology*, v. 36, p. 327-332, 2005.
- Silva, M. M. et al. *Schinus terebinthifolius*: phenolic constituents and *in vitro* antioxidant, antiproliferative and *in vivo* anti-inflammatory activities. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v. 27, p. 445-452, 2017.
- Sonbol, H. et al. Exploring the benefits of AMF colonization for improving wheat growth, physiology and metabolism, and antimicrobial activity under biotic stress from aphid infection. *BMC Plant Biology*, v. 25, p. 198, 2025.
- Sun, J. et al. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and biochar on growth, nutrient absorption, and physiological properties of maize (*Zea mays* L.). *Journal of Fungi*, v. 8, p. 1275, 2022.
- Suri, A. et al. Cultivating nature's pharmacy: Strategies for medicinal plants improvement. *South African Journal of Botany*, v. 169, p. 219-230, 2024.
- The International Collection of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi - INVAM. Mean Infection Percentage (MIP). c2025. Disponível em: <https://invam.ku.edu/mean-infection-percentage-mip>. Acesso em: 9 mar. 2026.
- Vasconcelos, P. G. S. et al. Biological properties of *Schinus terebinthifolia* Raddi essential oil. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, v. 58, p. e20417, 2022.
- Wijayawardene, N. N. et al. Classes and phyla of the kingdom Fungi. *Fungal Diversity*, v. 128, p. 1-165, 2024.
- Wright, J. S. et al. Predicting the activity of phenolic antioxidants: Theoretical method, analysis of substituent effects, and application to major families of antioxidants. *Journal of the American Chemical Society*, v. 123, p. 1173-1183, 2001.
- Wu, Q. S. et al. Arbuscular mycorrhiza-mediated augmentation of plant secondary metabolite production. *Frontiers in Plant Science*, v. 14, p. 1150900, 2023.