

O TEMPO DE ESTOCAGEM DE INÓCULOS MICORRÍZICOS INFLUENCIA A CAPACIDADE ANTIOXIDANTE DE FOLHAS DE *Zea mays* L.?

Eduarda Lins Falcão^{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. (eduarda.falcao@upe.br)

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

Resumo: O estudo objetivou verificar o efeito de mais de 24 anos de estocagem de *Entrophospora etunicata* na atividade antioxidante de folhas de *Zea mays*. Foi observado que o longo período de armazenamento favoreceu a eficiência simbiótica de *E. etunicata*, resultando em aumento (cerca de 13 %) da capacidade quelante de extratos de *Z. mays*, algo não evidenciado para *E. etunicata* armazenado por apenas dois anos. Esse é o primeiro estudo a reportar a modulação da atividade antioxidante em função da estocagem de inóculos micorrízicos.

Palavras-chave: ação quelante; milho; micorrização; armazenamento

INTRODUÇÃO

Compostos naturais com potencial antioxidante são de importância na alimentação animal (Bešlo et al., 2023; Contò et al., 2026), pois podem favorecer o bem-estar ao promover um melhor *status* antioxidante (Pastorelli et al., 2023), ao beneficiar a microbiota intestinal (Iqbal et al., 2020; Proca et al., 2024) e ao reduzir condições inflamatórias (Eder et al., 2025); esses bioativos podem ser uma alternativa a antioxidantes sintéticos potencialmente tóxicos, como o hidroxianisol butilado (BHA), o hidroxitolueno butilado (BHT) e o terc-butilhidroquinona (TBHQ) (Ren et al., 2025), que apesar do uso frequente em rações (Costa et al., 2022), podem facilitar o desenvolvimento de condições inflamatórias (Leonard et al., 2023). Desse modo, a busca por ingredientes antioxidantes naturais na alimentação animal pode movimentar mais de 1.400 milhões de dólares até 2035 (Future Market Insights, 2025).

Um material vegetal utilizado na alimentação de alguns ruminantes, com potencial antioxidante, é o milho (*Zea mays* L.) (Cui et al., 2022), sendo as folhas e os grãos registrados como ingredientes autorizados pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (Brasil, 2026). As folhas acumulam metabólitos bioativos, como compostos fenólicos (Silva et al., 2019; Luqman et al., 2023) e ácido ascórbico (Azam et al., 2022), que conferem ação anti-inflamatória (Morakinyo et al., 2021), antioxidante (Alsherif et al., 2023) e propriedades anticâncer (Balasubramanian e Padma, 2013). No entanto, tais metabólitos podem apresentar variações de concentração na fitomassa (Zlatić et al., 2019), sendo relevante buscar alternativas que

promovam a atividade antioxidante de extratos vegetais.

Uma biotecnologia agrícola para otimizar a atividade antioxidante foliar de *Z. mays* é a aplicação de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) (Falcão et al., 2025), microrganismos edáficos simbiotes de distribuição cosmopolita (Lutz et al., 2025). A partir dessa relação simbiótica mutualística, o vegetal fornece assimilados (Lekberg et al., 2024) ao FMA que, em contrapartida, forrageia por nutrientes que são transferidos e utilizados em vias metabólicas (An et al., 2025). A modulação fisiológica de plantas micorrizadas pode ser refletida em crescimento otimizado (Umer et al., 2025), na maior tolerância a estresses (Samanta et al., 2025), na biossíntese de compostos bioativos (Barreto et al., 2025) e no aumento do potencial antioxidante (Falcão et al., 2023; Zhang et al., 2025).

Apesar do benefício notável da micorrização para o metabolismo secundário e para a atividade antioxidante, alguns fatores podem influenciar a eficiência dos FMA, como o isolado micorrízico (Djotan et al., 2026) e as condições de multiplicação e de armazenamento de inóculos (Kim et al., 2002; Püschel et al., 2019). Nesse contexto, a estocagem é um fator que interfere diretamente nos FMA, seja a partir da temperatura (Liu et al., 2024), da umidade (Daft et al., 1987) ou do tempo de armazenamento (Varga et al., 2015). Sendo assim, é recomendado que inóculos micorrízicos sejam armazenados secos (Salomon et al., 2022) e em baixas temperaturas (Safir et al., 1990), no entanto, pouco se conhece sobre o efeito das condições de armazenamento de inóculos micorrízicos no metabolismo vegetal.

Nesse contexto, sabe-se que o armazenamento a longo prazo de *Entrophospora etunicata* (W.N. Becker &



Gerd.) Błaszczak, Niezgoda, B.T. Goto & Magurno, fungo amplamente empregado na formulação de inoculantes (Basiru et al., 2021; Ghorui et al., 2025), reduz a infectividade, a viabilidade (Falcão e Silva, 2025) e concentração de proteínas em glomerosporos (Falcão et al., 2026), mas essas características não influenciam a promoção da biossíntese de metabólitos considerados antioxidantes, como os compostos fenólicos e as saponinas (Falcão et al., 2025). No entanto, não é estabelecido se esse FMA estocado por mais de 20 anos pode otimizar a capacidade quelante de extratos de folhas de *Z. mays*, parâmetro relevante na oferta da fitomassa do milho para alimentação de ruminantes, por traduzir a atividade antioxidante.

Portanto, foi testada a hipótese de que a inoculação de *E. etunicata* estocado por 24 anos otimiza a capacidade quelante de extratos de folhas de *Z. mays*. O objetivo do estudo foi verificar o efeito da longa estocagem de *E. etunicata* na atividade antioxidante foliar de *Z. mays*.

MATERIAL E MÉTODOS

Para entender como a estocagem de *E. etunicata*, em baixas temperaturas por mais de duas décadas, pode modular a capacidade antioxidante total de folhas de *Z. mays*, foi conduzido um experimento em casa de vegetação na Universidade de Pernambuco (UPE), no Instituto de Ciências Biológicas (Campus Santo Amaro) de outubro de 2024 a janeiro de 2025.

Delineamento experimental

Foi delineado um experimento inteiramente casualizado, considerando três tratamentos de inoculação em *Z. mays*: não inoculado (controle), inoculado com *E. etunicata* produzido e estocado desde 2000 (EE2000) e inoculado com *E. etunicata* produzido e estocado desde 2023 (EE2023), com sete repetições por tratamento.

Produção de inóculo e condições de armazenamento

Para verificar o efeito do longo armazenamento de *E. etunicata* na otimização da atividade antioxidante foliar de *Z. mays*, inicialmente, ocorreu a produção do solo-inóculo de *E. etunicata*. Nesse sentido, um isolado de *E. etunicata* cedido pelo Laboratório de Micorrizas (Universidade Federal de Pernambuco - UFPE) foi o inóculo inicial utilizado nessa pesquisa. Sendo assim, para a multiplicação do inóculo no ano de 2000 foi utilizada uma mistura de areia e de vermiculita (1:1, v/v) esterilizadas por dois dias consecutivos (121 °C, 15 min, 1 atm.) como substrato. O painço (*Panicum miliaceum* L.) foi usado como hospedeiro na multiplicação, sendo depositados 50 sementes e 100 esporos por pote com capacidade de 400 mL. As plantas foram mantidas por um período de 85 dias em casa de vegetação (temperatura máxima: 32,4 °C; temperatura mínima: 22,8 °C; umidade máxima: 81,1 %; umidade mínima: 45,6 %), sendo o

sistema de rega realizado em dias alternados com solução nutritiva com baixo Fósforo e suplementada com tampão Tris-HCl 50 mM (pH 6,5) (Silva et al., 2005).

Após o período de multiplicação, a parte aérea foi descartada, o substrato seco em temperatura ambiente e as raízes seccionadas e misturadas, resultando no solo-inóculo. A concentração de glomerosporos desse inóculo (EE2000) foi de 58,9 esporos g⁻¹ solo, com cerca de 4 % de potencial infectivo após 24 anos de armazenamento a 4-6 °C (Falcão e Silva, 2025).

Para o inóculo multiplicado e estocado desde 2023 (EE2023) foram utilizados o mesmo substrato, hospedeiro, tamanho de potes, quantidade de glomerosporos para a inoculação, metodologia de rega, processamento do solo-inóculo e armazenamento. Adicionalmente, a multiplicação de EE2023 durou 79 dias (temperatura máxima: 34,8 °C; temperatura mínima: 23,1 °C; umidade máxima: 97 %; umidade mínima: 56 %). A concentração de glomerosporos, obtida para o solo-inóculo de EE2023, foi de 20,6 esporos g⁻¹ solo e cerca de 32 % de infectividade após um ano de armazenamento (Falcão e Silva, 2025). Os inóculos de *E. etunicata* estão registrados no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SisGen) sob o código ABC3019.

Inoculação em *Zea mays* e condução experimental

Para avaliar a eficiência de *E. etunicata* armazenado por mais de 20 anos em otimizar a capacidade antioxidante foliar de *Z. mays*, foi conduzido um experimento, utilizando substrato para cultivo vegetal à base de turfa e areia (1:1, v/v) com a seguinte caracterização química: 8,3 de pH (1:2,5, água), 6,04 cmolc kg⁻¹ de Cálcio, 1,31 cmolc kg⁻¹ de Magnésio, 0,88 cmolc kg⁻¹ de Potássio, 4,00 cmolc kg⁻¹ de Sódio, 12,23 cmolc kg⁻¹ de capacidade de troca catiônica, 36,44 g kg⁻¹ de Carbono, 2,80 g kg⁻¹ de Nitrogênio, 12,93 de C/N, 62,40 g kg⁻¹ de matéria orgânica, 22,00 mg kg⁻¹ de Fósforo (Melich 1) e 13,4 g kg⁻¹ de equivalente de carbonato de cálcio. Este substrato foi transferido para sacos pretos de polietileno para o cultivo do milho, sendo preenchidos com quatro litros de substrato/saco (33 cm x 33 cm).

No dia 18 de outubro de 2024, solos-inóculo de EE2000 e de EE2023 contendo 100 glomerosporos, hifas e raízes colonizadas foram transferidos para os sacos com o substrato de cultivo e cobertos com o mesmo substrato. Logo após, duas sementes de milho-doce (*Z. mays* L. subsp. *sacharatta*), superficialmente desinfestadas com solução de hipoclorito de Sódio (0,05%, 2 minutos), foram transferidas e cobertas com o substrato. Após a emergência das sementes, apenas uma plântula foi mantida por pote. Plantas que não foram inoculadas (controle) receberam filtrado dos solos-inóculo de EE2000 e EE2023.

As plantas foram mantidas sob condições ambientais de temperatura (mínima= 23,1 °C; máxima= 34,9 °C) e umidade (mínima: 56 %; máxima = 97 %) e regadas diariamente com água corrente filtrada durante um mês. Até o final do experimento, as plantas receberam solução nutritiva com baixo Fósforo, sem adição de Tris-HCl 50 mM (pH 6,5) (Silva et al., 2005, modificado) duas vezes por semana. Para informações dos reagentes utilizados nesta solução, acesse Falcão et al. (2025). Em 03/01/2025, o experimento e a parte aérea de *Z. mays* foram coletados (Figura 1).



Figura 1. Experimento com *Zea mays* L. inoculada ou não com *Entrophospora etunicata* (W.N. Becker & Gerd.) Błazsk., Niezgodna, B.T. Goto & Magurno multiplicado e estocado desde 2000 e 2023, após 75 dias em casa de vegetação.

Preparo do extrato vegetal

Para obtenção do extrato vegetal, a parte aérea do milho foi seca em estufa (45 °C) até peso constante por 72 horas. As folhas foram picotadas e 100 mg de cada planta foram utilizados para preparo do extrato etanólico (70 %) assistido em banho ultrassônico durante 10 minutos (40kHz, 100W, 20 °C) (Goltz et al., 2018, modificado). Os extratos obtidos foram filtrados em papel de filtro qualitativo e armazenados (-18 °C) para avaliação da capacidade antioxidante *in vitro* dos extratos (Figura 2).

Avaliação da capacidade antioxidante *in vitro*

Para avaliar a atividade antioxidante dos extratos, foi utilizado o método de capacidade quelante do Ferro (Dinis et al., 1994; Belattmania et al., 2016, modificado), no qual foram adicionados 900 µL de

água destilada, 100 µL do extrato vegetal, 50 µL de solução de cloreto ferroso (2 mM) e 200 µL de solução de ferrozina (5 mM). Após incubação por 10 minutos, as amostras foram lidas em espectrofotômetro no comprimento de onda de 562 nm. Foram utilizadas soluções de tocoferol (0,0025 g/ 10 mL) e do Ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA) (10 mg/mL) para expressar a capacidade quelante, em percentual, dos extratos.

Marcas de equipamentos, de reagentes e de outros materiais utilizados

Equipamentos: estufa de secagem (Quimis®, Diadema, São Paulo – Brasil), espectrofotômetro (Thermo Fisher Scientific®, Franklin, Massachusetts – Estados Unidos), pipetadores automáticos digitais (Blue-Ray Biotech. Corp. Ltda., Distrito de Xindian, Nova Taipé – Taiwan), balança semi-analítica (Marte Científica & Instrumentação Industrial Ltda., Santa Rita do Sapucaí, Minas Gerais - Brasil) e balança analítica (BEL Engineering®, Monza, Itália). Outros materiais areia (Granumix®, Vitória de Santo Antão, Pernambuco – Brasil), substrato para mudas (All Garden®, Jaguariúna, São Paulo – Brasil) e papel filtro qualitativo (Celab®, Recife, Pernambuco - Brasil). Reagentes: EDTA sal dissódico (Neon®, Suzano, São Paulo - Brasil), dinitrofenilhidrazina (Dinâmica®, Indaiatuba, São Paulo - Brasil), tocoferol (Sigma-Aldrich®, Barueri, São Paulo - Brasil), cloreto de ferroso (Dinâmica®, Indaiatuba, São Paulo – Brasil), e álcool etílico (Química Moderna®, Santana de Parnaíba, São Paulo - Brasil).

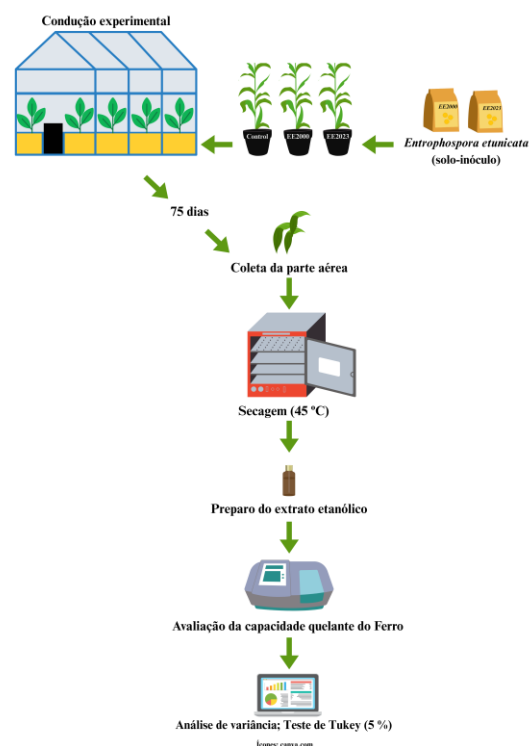


Figura 2. Sumarização metodológica para avaliação da longa estocagem de *Entrophospora etunicata* (W.N. Becker & Gerd.) Błaszk., Niezgodna, B.T. Goto & Magurno na atividade antioxidante foliar de *Zea mays* L. EE2000: *E. etunicata* multiplicado e estocado desde 2000; EE2023: *E. etunicata* multiplicado e estocado desde 2023.

Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e apresentaram normalidade, de acordo com o teste de Shapiro-Wilk. As médias foram comparadas pelo Teste de Tukey (5 %), utilizando o software ASSISTAT (versão 7.7, 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Confirmando a hipótese inicialmente proposta, o longo armazenamento de *E. etunicata* não interferiu na eficiência em otimizar a atividade antioxidante, avaliada pela capacidade quelante foliar de *Z. mays*, em relação ao tocoferol e ao EDTA. Essa atividade foi otimizada em cerca de 13 %, em comparação ao controle (Figura 3), sendo mais eficiente que EE2023, cuja inoculação não alterou a capacidade antioxidante, em comparação às plantas não inoculadas (Figura 3). Esse resultado corrobora o observado por Falcão et al. (2025), no qual 24 anos de armazenamento não afetaram a eficiência de *E. etunicata* em potencializar o acúmulo de saponinas totais e de proteínas totais em folhas de *Z. mays*.

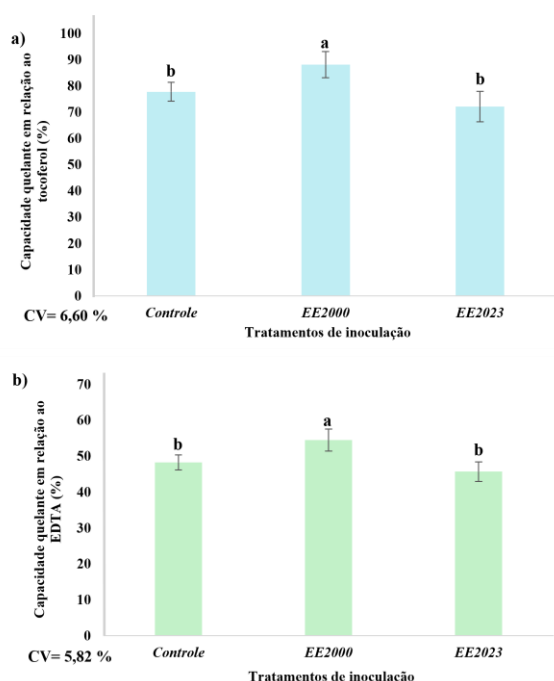


Figura 3. Capacidade quelante do Ferro (%) em relação ao (A) tocoferol e ao (B) ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA) e de folhas de *Zea mays* L. inoculada ou não com *Entrophospora etunicata* (W.N. Becker & Gerd.) Błaszk., Niezgodna,

B.T. Goto & Magurno multiplicado e estocado desde 2000 (EE2000) e desde 2023 (EE2023). Médias ($n=7$) seguidas da mesma letra não diferem pelo Teste de Tukey (5 %). CV: coeficiente de variância. Barras indicam o desvio padrão das médias.

Mesmo que EE2023 tenha apresentado *performance* inferior a EE2000 no aumento da capacidade quelante foliar de *Z. mays*, é importante ressaltar que isso não reflete na capacidade desse inóculo na promoção da síntese de bioativos antioxidantes (Falcão et al., 2025). Sendo assim, é provável que plantas inoculadas com EE2023 apresentem menor disponibilidade de compostos de ação quelante, como alguns flavonoides (Walencik et al., 2024) e proteínas (Hajj et al., 2023). Além disso, é relevante investigar se sucessivas multiplicações desse fungo, ao longo dos 24 anos (Falcão e Silva, 2025), podem explicar os resultados do presente estudo.

De modo geral, o aumento da atividade antioxidante foliar de *Z. mays* colonizada por *E. etunicata* é notável. Tal espécie tem o potencial de otimizar a capacidade antioxidante *in vitro* vegetal, além de modular a comunidade microbiana do solo cultivo de *Z. mays* (Hao et al., 2022) e auxiliar na tolerância de estresses abióticos (Pan et al., 2024; Zarei et al., 2024), o que reafirma o potencial da espécie no cultivo do milho e para a oferta de uma fitomassa com maior qualidade a ser implementada na alimentação de ruminantes.

Nesse sentido, o uso de uma fitomassa rica em bioativos com potencial quelante é de interesse à indústria de alimentação animal, uma vez que esses metabólitos podem auxiliar na imunidade (Phillips et al., 2023) e na saúde intestinal (Proca et al., 2024). No entanto, é imprescindível testar a biodisponibilidade de compostos antioxidantes de extratos de *Z. mays* inoculada com *E. etunicata*, considerando que a absorção desses metabólitos pode, por exemplo, variar conforme a idade, a microbiota intestinal e as condições de saúde (Zhang et al., 2022).

Portanto, apesar de EE2000 apresentar características que poderiam interferir na eficiência em otimizar a atividade antioxidante foliar de *Z. mays*, como a baixa infectividade, viabilidade (Falcão e Silva, 2025) e potencial de colonização (Falcão et al., 2025), é provável que este tenha apresentado maior atividade no sítio de troca entre os parceiros simbiotes, tornando-se importante avaliar a atividade arbuscular desse fungo. Somado a isso, mesmo sendo bem estabelecido que a inoculação micorrízica regula a expressão de genes relacionados à síntese de compostos antioxidantes, como os fenólicos (An et al., 2025) e os terpenícos (Leggatt et al., 2023), é válido verificar como o longo tempo de estocagem pode ter influenciado a maneira como EE2000 influencia as



vias metabólicas da síntese de bioativos antioxidantes em folhas de *Z. mays*.

CONCLUSÃO

O armazenamento de inóculo de *E. etunicata* por 24 anos é uma alternativa para otimizar a capacidade antioxidante foliar de *Z. mays*.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de doutorado à Eduarda Lins Falcão (140405/2024-0) e de produtividade a Fábio Sérgio Barbosa da Silva (306119/2024-2) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Os autores também agradecem ao Instituto Agrônomo de Pernambuco por fornecer as sementes de milho-doce utilizadas neste estudo e ao Laboratório de Micorrizas da Universidade Federal de Pernambuco, Brasil (Professora Leonor Costa Maia, PhD) por conceder o inóculo inicial.

REFERÊNCIAS

Alsherif, E. A. et al. Carbon nanoparticles improve the effect of compost and arbuscular mycorrhizal fungi in drought-stressed corn cultivation. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 194, p. 29–40, 2023.

An, X.-P. et al. Phosphorus absorption by mycorrhizal extraradical hyphae accelerates plant growth and active ingredient production in *Polygonum cuspidatum*. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, v. 12, p. 123, 2025.

Azam, M. et al. Zinc oxide nano-fertilizer application (foliar and soil) effect on the growth, photosynthetic pigments and antioxidant system of maize cultivar. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v. 42, p. 102343, 2022.

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, 2025.

Basiru, S. et al. Analysis of arbuscular mycorrhizal fungal inoculant benchmarks. *Microorganisms*, v. 9, p. 81, 2021.

Belattmania, Z. et al. Potential uses of the brown seaweed *Cystoseira humilis* biomass: 2- Fatty acid composition, antioxidant and antibacterial activities. *Journal of Materials and Environmental Science*, v. 7, p. 2074–2081, 2016.

Bešlo, D. et al. Antioxidant activity, metabolism, and bioavailability of polyphenols in the diet of animals. *Antioxidants*, v. 12, p. 1141, 2023.

Brasil. Lista de ingredientes e veículos autorizados pelo MAPA para uso na alimentação animal no

Brasil. Ministério da Agricultura e Pecuária, 2026. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-pecuarios/alimentacao-animal/listageral05022026ver20260205a.pdf>. Acesso em: 14 maio 2026.

Contò, M. et al. Natural bioactive compounds as feed additives: Strategies for sustainable and functional livestock production. *Applied Sciences*, v. 16, p. 2344, 2026.

Costa, J. L. G. et al. Concentration of synthetic antioxidants and peroxide value of commercial dry pet foods. *Animal Feed Science and Technology*, v. 294, p. 115499, 2022.

Cui, Y. et al. Whole-plant corn silage improves rumen fermentation and growth performance of beef cattle by altering rumen microbiota. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 106, p. 4187–4198, 2022.

Daft, M. J. et al. Infectivity of vesicular arbuscular mycorrhizal inocula after storage under various environmental conditions. *Transactions of the British Mycological Society*, v. 88, n. 1, p. 21–27, 1987.

Dinis, T. C. P. et al. Action of phenolic derivatives (acetoaminophen, salicylate, and 5-aminosalicylate) as inhibitors of membrane lipid peroxidation and as peroxy radical scavengers. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, v. 315, p. 161–169, 1994.

Djotan, A. K. G. et al. Origin and cohabitation of arbuscular mycorrhizal fungi matter: forest-derived *Gigaspora* species are promising candidates for bioinoculant development in forest tree production. *Mycorrhiza*, v. 36, p. 8, 2026.

Eder, K. et al. Effects of grape by-products on oxidative stress and inflammation in farm animals: An overview of studies performed in pigs, chickens, and cattle. *Animals*, v. 15, p. 1536, 2025.

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.

Falcão, E. L. et al. 24 years of cold storage of an AMF inoculant does not affect its symbiotic efficiency. *Rhizosphere*, v. 36, p. 101193, 2025.

Falcão, E. L. et al. 25 years of cold storage decreases protein concentration but preserves other metabolite pools in spores of an arbuscular mycorrhizal fungus. *Rhizosphere*, v. 37, p. 101272, 2026.



- Falcão, E. L., Silva, F. S. B. Long storage time affects the infectivity and viability of *Entrophospora etunicata*. Rhizosphere, v. 35, p. 101149, 2025.
- Future Market Insights. Animal feed antioxidants market size, share, and forecast outlook 2025 to 2035. Future Market Insights, 2025. Disponível em: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/animal-feed-antioxidants-market>. Acesso em: 14 maio 2026.
- Ghorui M. et al. Recent advances in the commercial formulation of arbuscular mycorrhizal inoculants. Frontiers in Industrial Microbiology, v. 3, p. 1553472, 2025.
- Goltz, C. et al. Ultrasound assisted extraction of phenolic compounds from Macela (*Achyrocline satureioides*) extracts. Industrial Crops and Products v. 115, p. 227–234, 2018
- Hao, B. et al. *Claroideoglomus etunicatum* affects the structural and functional genes of the rhizosphere microbial community to help maize resist Cd and La stresses. Environmental Pollution, v. 307, p. 119559, 2022.
- Hajj, S. et al. Metal-chelating activity of soy and pea protein hydrolysates obtained after different enzymatic treatments from protein isolates. Food Chemistry, v. 405, p. 134788, 2023.
- Iqbal, Y. et al. Gut Microbiota-polyphenol interactions in chicken: A review. Animals, v. 10, p. 1391, 2020.
- Kim, K. Y. et al. Cold-storage of mixed inoculum of *Glomus intraradices* enhances root colonization, phosphorus status and growth of hot pepper. Plant and Soil, v. 238, p. 267–272, 2002.
- Leggatt, E. et al. Addition of arbuscular mycorrhizal fungi enhances terpene synthase expression in *Salvia rosmarinus* cultivars. Life, v. 13, p. 315, 2023.
- Lekberg, Y. et al. Carbon and phosphorus exchange rates in arbuscular mycorrhizas depend on environmental context and differ among co-occurring plants. New Phytologist, v. 242, p. 1576–1588, 2024.
- Leonard, E. R. et al. Dietary exposure to the food preservative tert-Butylhydroquinone (tBHQ) impairs zebrafish (*Danio rerio*) survival, growth, organ development, and gene expression in Nrf2a-dependent and independent ways. Food and Chemical Toxicology, v. 176, p. 113788, 2023.
- Liu, X. et al. Cold storage promotes germination and colonization of arbuscular mycorrhizal fungal hyphae as propagules. Frontiers in Plant Science, v. 15, p. 1450829, 2024.
- Luqman, M. et al. Effect of strigolactone on growth, photosynthetic efficiency, antioxidant activity, and osmolytes accumulation in different maize (*Zea mays* L.) hybrids grown under drought stress. Plant Signaling & Behavior, v. 18, p. 2262795, 2023.
- Lutz, S. et al. Global richness of arbuscular mycorrhizal fungi. Fungal Ecology, v. 74, p. 101407, 2025.
- Morakinyo, A. E. et al. Comparative studies of antioxidant and anti-inflammatory potentials of ethanolic leaf extract of *Sorghum bicolor* and *Zea mays*. Journal of Medicinal Plants Research, v. 15, p. 339–350, 2021.
- Balasubramanian, K., Padma, P. R. Anticancer Activity of *Zea mays* leaf extracts on oxidative stress-induced Hep2 cells. Journal of Acupuncture and Meridian Studies, v. 6, p. 149–158, 2013.
- Pan, G. et al. Effects of *Claroideoglomus etunicatum* fungi inoculation on Arsenic uptake by maize and *Pteris vittata* L. Toxics, v. 10, p. 574, 2024.
- Pastorelli, G. et al. Partial replacement of synthetic vitamin E by polyphenols in post-weaning piglets. Antioxidants, v. 12, p. 1752, 2023.
- Phillips, C. J. C. et al. Immunomodulatory effects of natural feed additives for meat chickens. Life, v. 13, p. 1287, 2023.
- Proca, A. C. et al. The potential of grape polyphenols additive in pig nutrition: Chemical structure, bioavailability and their effect on intestinal health of pigs. Agriculture, v. 14, p. 1142, 2024.
- Püschel, D. et al. Survival and long-term infectivity of arbuscular mycorrhizal fungi in peat-based substrates stored under different temperature regimes. Applied Soil Ecology, v. 140, p. 98–107, 2019.
- Ren, J. et al. Exploring the mechanisms of the antioxidants BHA, BHT, and TBHQ in hepatotoxicity, nephrotoxicity, and neurotoxicity from the perspective of network toxicology. Foods, v. 14, p. 1095, 2025.
- Safir, G. R. et al. Improvement and synchronization of VA mycorrhiza fungal spore germination by short-term cold storage. Soil Biology and Biochemistry, v. 22, p. 109–111, 1990.
- Salomon, M. J. et al. Establishing a quality management framework for commercial inoculants containing arbuscular mycorrhizal fungi. iScience, v. 25, p. 104636, 2022.
- Samanta, I. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi – a natural tool to impart abiotic stress tolerance in plants. Plant Signaling & Behavior, v. 20, p. 2525843, 2025.



- 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, F. A. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi as biotechnology alternative to increase concentrate of secondary metabolites in *Zea mays* L. *Brazilian Journal of Botany*, v. 42, p. 189–193, 2019.
- Umer M. et al. Roles of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth and disease management for sustainable agriculture. *Frontiers in Microbiology* v. 16, p. 1616273, 2025.
- Varga, S. et al. Arctic arbuscular mycorrhizal spore community and viability after storage in cold conditions. *Mycorrhiza*, v. 25, p. 335–343, 2015.
- Walencik, P. K. et al. Metal–flavonoid interactions - from simple complexes to advanced systems. *Molecules*, v. 29, p. 2573, 2024.
- Zarei, M. et al. Effects of *Claroideoglomus etunicatum* fungus on the growth parameters of maize (*Zea mays* L.) plants under Boron toxicity and salt stress. *Agronomy*, v. 14, p. 1013, 2024.
- Zhang, B. et al. Health benefits of dietary polyphenols: insight into interindividual variability in absorption and metabolism. *Current Opinion in Food Science*, v. 48, p. 100941, 2022.
- Zhang, S. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi improve maize growth and antioxidant activity by modulating phytohormone contents and metabolic pathways under drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 229, p. 110676, 2025.
- Zlatic, N. et al. Temporal, plant part, and interpopulation variability of secondary metabolites and antioxidant activity of *Inula helenium* L. *Plants*, v. 8, p. 179, 2019.