

FUNGOS PROMOTORES DO CRESCIMENTO VEGETAL: MECANISMOS DE AÇÃO E POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO NA AGRICULTURA

Thuane Barbosa Medeiros Franco¹;

¹Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campina Grande, Paraíba.

<http://lattes.cnpq.br/7383821115610743>

Catarina Araújo de Souza²;

²Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campina Grande, Paraíba.

<http://lattes.cnpq.br/3010750008511791>

Keveny Martins Claudino³;

³Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campina Grande, Paraíba.

<http://lattes.cnpq.br/0060213408102654>

Ana Gabriela Alves Batista⁴;

⁴Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campina Grande, Paraíba.

<http://lattes.cnpq.br/9352091425943334>

Liziane Maria de Lima⁵.

⁵Embrapa Algodão (EMBRAPA), Campina Grande, Paraíba.

<http://lattes.cnpq.br/7350753350522784>

RESUMO: Os fungos promotores de crescimento vegetal utilizam diferentes mecanismos fisiológicos e bioquímicos para desempenhar seu papel no desenvolvimento das plantas, favorecendo a absorção de nutrientes, o crescimento radicular e a adaptação a condições ambientais adversas. Objetivou-se revisar o papel dos fungos promotores do crescimento vegetal, com ênfase nos mecanismos de interação com as plantas e no potencial de aplicação desses microrganismos como estratégia biotecnológica na agricultura. Seleccionamos 19 artigos da base de dados do *National Center for Biotechnology Information* (NCBI) e 14 *ScienceDirect*, totalizando 33 trabalhos. Constatou-se que os fungos endofíticos e rizosféricos atenuam estresses ambientais e estimulam o desenvolvimento vegetal por meio da síntese hormonal, solubilização de nutrientes e biocontrole de patógenos. Contudo, estudos interdisciplinares e abordagens de modulação microbiana são necessários para otimizar as relações simbióticas planta-fungo e seu potencial para o aumento da produtividade. Em síntese, recomenda-se que as pesquisas continuem a avançar na compreensão das interações entre plantas e microrganismos, com enfoque no isolamento de linhagens adaptadas e no aprimoramento de bioinsumos para a agricultura.

PALAVRAS-CHAVE: Bioestimulantes. Interação planta-microrganismo. Fungos endofíticos.

PLANT GROWTH-PROMOTING FUNGI: MECHANISMS OF ACTION AND BIOTECHNOLOGICAL POTENTIAL IN AGRICULTURE

ABSTRACT: Plant growth-promoting fungi employ various physiological and biochemical mechanisms to influence plant development, facilitating nutrient uptake, root growth, and adaptation to adverse environmental conditions. This study aimed to review the role of plant growth-promoting fungi, focusing on their interaction mechanisms with plants and their potential application as a biotechnological strategy in agriculture. We selected 33 studies in total: 19 from the National Center for Biotechnology Information (NCBI) database and 14 from ScienceDirect. The findings indicate that endophytic and rhizospheric fungi mitigate environmental stress and stimulate plant development through hormone synthesis, nutrient solubilization, and pathogen biocontrol. However, interdisciplinary studies and microbial modulation approaches are required to optimize plant-fungus symbiotic relationships and their potential to boost productivity. In summary, further research is recommended to advance the understanding of plant-microorganism interactions, with a focus on isolating adapted strains and improving bio-inputs for agriculture.

KEYWORDS: Biostimulants. Plant-microorganism interaction. Endophytic fungi.

INTRODUÇÃO

Práticas agrícolas intensivas e não sustentáveis colocam em risco a segurança alimentar, a economia e o meio ambiente em todo o mundo (Díaz-Rodríguez et al., 2025). Para enfrentar esse desafio, são necessárias alternativas, como a adoção de um manejo adequado e a redução do uso indiscriminado de agroquímicos (Murali et al., 2021).

Nesse contexto, os microrganismos promotores de crescimento constituem uma estratégia eficaz no controle de doenças e uma alternativa para impulsionar o crescimento e os mecanismos de defesa nas plantas (Murali et al., 2021). Diante da necessidade de práticas mais sustentáveis, a busca por estratégias biotecnológicas, como o uso de bioinoculantes à base de microrganismos promotores de crescimento, tem se mostrado eficiente, favorecendo o desenvolvimento e a saúde das plantas (Hossain; Sultana; Islam, 2017; Adedayo; Babalola, 2023).

Entre estes microrganismos, os fungos desempenham um papel multifuncional importante para as plantas; diversas espécies endofíticas vêm se destacando por suas associações simbióticas com culturas variadas, promovendo a supressão de patógenos e a fertilidade do solo (Samal et al., 2023). Uma vez que melhoram a absorção de nutrientes e, por consequência, atuam no aumento da taxa de germinação, no crescimento vegetativo, no alongamento das raízes e na produção de biomassa, além de auxiliar na tolerância a estresses bióticos e abióticos (Ben Rhouma et al., 2020; Baron; Rigobelo, 2022; Samal; Rai; Upadhaya, 2023).

O uso de biofertilizantes e inoculantes microbianos tem se destacado como uma estratégia promissora para a agricultura sustentável, por modular o microbioma do solo e

fortalecer as interações entre o solo, as plantas e os microrganismos. Esses microrganismos contribuem para a redução da dependência de fertilizantes minerais e promovem melhorias na qualidade e fertilidade do solo. Tais efeitos são mediados por mecanismos que estimulam a atividade enzimática e favorecem comunidades microbianas benéficas (Srijanani et al., 2024; Panek et al., 2026).

OBJETIVO

Abordar, com base na literatura científica, o papel dos fungos promotores de crescimento vegetal, com ênfase nos mecanismos de interação com as plantas e no potencial de aplicação como estratégia biotecnológica na agricultura.

METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de abordagem qualitativa, de natureza básica, com objetivos exploratórios e descritivos, desenvolvida por meio de revisão bibliográfica, com o propósito de reunir e analisar informações científicas acerca da atuação de fungos promotores de crescimento vegetal.

A pesquisa bibliográfica foi realizada nas bases de dados: *ScienceDirect* e *PubMed*, disponibilizadas pelo *National Center for Biotechnology Information* (NCBI), mediante a combinação de palavras-chave: “fungos promotores do crescimento vegetal”, “bioinsumos” e “agricultura sustentável” (Tabela 1).

Tabela 1 - Combinação de palavras-chave utilizadas na busca de dados.

Banco de Dados	Estratégia de busca
SCIENCEDIRECT	“Fungos promotores do crescimento vegetal”
	“Fungos promotores do crescimento vegetal” AND “Bioinsumos”
	“Fungos promotores do crescimento vegetal” AND “Agricultura sustentável”
NCBI	“Fungos promotores do crescimento vegetal”
	“Fungos promotores do crescimento vegetal” AND “Bioinsumos”
	“Fungos promotores do crescimento vegetal” AND “Agricultura sustentável”

Os termos utilizados na busca foram adicionados aos bancos de dados em inglês.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2026.

Como critérios de inclusão, foram considerados artigos científicos que apresentaram informações sobre a interação benéfica entre fungos e plantas, mecanismos de promoção

do crescimento vegetal, aquisição de nutrientes, produção ou modulação de fitormônios, indução de defesa e tolerância a estresses abióticos, bem como estudos que discutissem a utilização de fungos como bioinsumos e sua contribuição para sistemas agrícolas sustentáveis. Não foram estabelecidos limites quanto ao ano de publicação ou ao idioma dos artigos.

Foram excluídos trabalhos que não apresentaram relação direta com os objetivos da revisão, bem como estudos exclusivamente relacionados à interação planta-fungo de caráter patogênico. As buscas foram realizadas no período de março a maio de 2026, com um total de 33 artigos selecionados, sendo 19 da base de dados *NCBI* e 14 do *ScienceDirect*. Após a busca, os estudos foram selecionados por meio da leitura dos títulos, resumos e, quando pertinente, do texto completo, considerando sua relevância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fungos endofíticos e a interação planta-microrganismo

O uso de fungos, bactérias ou consórcios microbianos associados a biofertilizantes mostra-se uma alternativa para a prática da agricultura sustentável. Fungos benéficos têm se destacado como uma alternativa promissora, apresentando mecanismos que induzem diversas respostas nas plantas, como a promoção do crescimento vegetal, fixação biológica de nitrogênio, solubilização de fósforo, produção de fitormônios, produção de sideróforos e o controle biológico de pragas, contribuindo para sistemas de cultivo mais eficientes e ecologicamente equilibrados (Gazola et al., 2024; Rodrigues; Limeira, 2023).

Dentre os fungos utilizados na agricultura, destacam-se principalmente aqueles que apresentam a capacidade promotora de crescimento, como os fungos dos gêneros *Aspergillus*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Piriformospora*, *Phoma* e *Rhizoctonia*, que têm a capacidade natural de estimular características relacionadas ao crescimento das plantas, aumento da aquisição de nutrientes, modificação do ambiente do solo para promover o crescimento e desenvolvimento da planta e biocontrole de patógenos vegetais (Bent, 2006; Hossain; Sultana; Islam, 2017).

Todavia, ainda há muito a descobrir sobre os fungos promotores de crescimento vegetal (FPCV), um grupo abundante e diverso de eucariotos, cujas funções promotoras do crescimento vegetal são conhecidas há décadas, mas, infelizmente, frequentemente negligenciadas. Em certos aspectos, os fungos superam as bactérias, principalmente devido à sua ubiquidade, morfologia particular, capacidade de penetrar em substratos sólidos, ampla distribuição geográfica e maior tolerância a condições adversas. Além disso, os fungos, sejam filamentosos, endofíticos, micorrízicos ou leveduras, exibem quase todas as funções ecológicas e características das bactérias. Portanto, o micobioma vegetal é considerado uma fonte quase inexplorada de FPCV excepcionais (Zenteno-Alegría et al., 2024).

Somada a isso, a natureza predominantemente não patogênica dos FPCV, aliada ao seu alto potencial de rendimento, segurança ambiental e custo-benefício, os posiciona como

alternativas ecologicamente corretas e economicamente viáveis aos agroquímicos sintéticos em meio a cenários de rápidas mudanças climáticas. Consequentemente, o horizonte promissor desses microrganismos na produção agrícola exige estudos interdisciplinares e abordagens de modulação microbiana para otimizar as relações simbióticas planta-fungo e o potencial desses microrganismos para aumentar a produtividade (Fite et al., 2023).

Mecanismos de promoção do crescimento vegetal mediados por fungos

Mecanismos diretos de promoção do crescimento vegetal

Os FPCV utilizam diferentes mecanismos fisiológicos e bioquímicos para desempenhar seu papel no desenvolvimento das plantas, favorecendo a absorção de nutrientes, o crescimento radicular e a adaptação a condições ambientais adversas. Esses microrganismos atuam diretamente no metabolismo vegetal, promovendo alterações hormonais e nutricionais que resultam em maior eficiência fisiológica e na produção das culturas agrícolas (Figura 1) (Baron; Rigobelo, 2022).

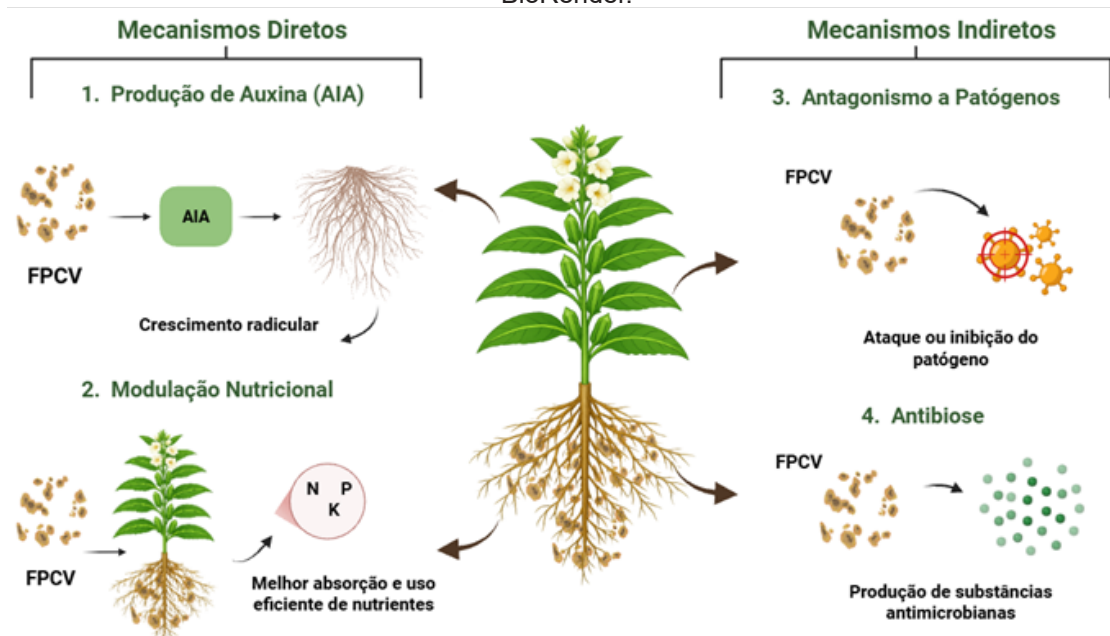
Entre os principais mecanismos diretos de promoção do crescimento vegetal, destaca-se a produção de fitormônios, especialmente auxinas, giberelinas e citocininas. As auxinas, principalmente o ácido indol-3-acético (AIA), estão associadas ao estímulo do crescimento radicular, ao alongamento celular e à formação de raízes laterais, o que aumenta a capacidade de absorção de água e nutrientes pelas plantas (Tripathi et al., 2025).

Os fungos endofíticos capazes de sintetizar AIA promovem modificações significativas na arquitetura radicular, favorecendo o estabelecimento vegetal sob condições de estresse abiótico (Khan et al., 2015). A inoculação de plantas com microrganismos endofíticos produtores de AIA têm sido relatados como uma estratégia promissora para aumentar parâmetros de crescimento vegetal, como biomassa, comprimento da raiz e da parte aérea (Tripathi et al., 2025).

Os FPCV desempenham um papel fundamental na dinâmica nutricional da rizosfera, atuando na solubilização do fósforo, na mobilização do potássio e no aumento da eficiência de absorção de nutrientes pelas plantas, estimulando a produção de compostos, como ácidos inorgânicos, ácidos orgânicos e fosfatases, que convertem compostos orgânicos complexos em moléculas solúveis que podem ser assimiladas pelas plantas (Adedayo; Babalola, 2023).

Figura 1: Mecanismos diretos e indiretos de promoção do crescimento vegetal mediados por fungos. Mecanismos diretos: (1) Produção de auxina (AIA), promovendo o crescimento radicular; (2) Modulação nutricional, favorecendo maior absorção de nutrientes minerais. Mecanismos indiretos: (3) Antagonismo a patógenos e (4) Antibiose, contribuindo para a supressão de microrganismos fitopatogênicos e proteção vegetal. FPCV: Fungos promotores de crescimento vegetal; AIA: Ácido Indol-3-Acético. Criado no

BioRender.



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

Mecanismos indiretos de promoção do crescimento vegetal

Os mecanismos indiretos relacionados à proteção das plantas contra fitopatógenos são particularmente importantes em ambientes agrícolas sujeitos a estresses bióticos e abióticos, nos quais a interação entre microrganismos pode determinar o sucesso do estabelecimento vegetal (Figura 1) (Verma et al., 2022).

O controle biológico de fitopatógenos constitui uma das principais formas indiretas de atuação desses fungos. Diversas espécies endofíticas e rizosféricas têm a capacidade de inibir o crescimento de fungos patogênicos por meio da produção de compostos antimicrobianos, enzimas hidrolíticas e metabólitos secundários com ação antifúngica. Enzimas como quitinases, glucanases e proteases promovem a degradação da parede celular de patógenos, reduzindo sua capacidade de colonização e de infecção (Verma et al., 2022).

O antagonismo microbiano também desempenha um papel relevante na defesa vegetal. Fungos benéficos podem competir diretamente com organismos patogênicos por nutrientes, espaço e recursos metabólicos disponíveis na rizosfera. Em muitos casos, o rápido crescimento e o estabelecimento desses microrganismos reduzem a possibilidade de colonização por agentes causadores de doenças, promovendo um maior equilíbrio microbiológico no solo (Adedayo; Babalola, 2023).

Além disso, muitos fungos promotores de crescimento são capazes de induzir

resistência sistêmica nas plantas hospedeiras. Esse processo envolve a ativação prévia de mecanismos de proteção vegetal, fenômeno conhecido como “priming”. Plantas previamente colonizadas por microrganismos benéficos apresentam respostas fisiológicas mais rápidas e eficientes diante de condições adversas, incluindo maior atividade antioxidante e maior expressão de genes relacionados à defesa e a tolerância ao estresse (Pieterse et al., 2014; Verma et al., 2022).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na literatura revisada, foi possível verificar a importância dos fungos promotores de crescimento vegetal em estratégias que envolvem desde o estímulo ao desenvolvimento radicular até a indução de tolerância a estresses bióticos e abióticos. Diante dessas informações, torna-se relevante ampliar os estudos que abordem a interação planta-microrganismo, especialmente com enfoque de isolamento de linhagens adaptadas e no aprimoramento de bioinsumos para a agricultura.

REFERÊNCIAS

- ABDELMOTELEB, A.; MORENO-RAMÍREZ, L.; VALDEZ-SALAS, B.; SELEIMAN, M. F.; EL-HENDAWY, S.; ALDHUWAIB, K. J.; ALOTAIBI, M.; GONZÁLEZ-MENDOZA, D. New *Bacillus subtilis* strains isolated from *Prosopis glandulosa* rhizosphere for suppressing *Fusarium* spp. and enhancing growth of *Gossypium hirsutum* L. **Biology**, v. 12, n. 1, p. 73, 2022.
- ADEDAYO, A. A.; BABALOLA, O. O. Fungi that promote plant growth in the rhizosphere boost crop growth. **Journal of Fungi**, v. 9, n. 2, p. 239, 2023.
- ALI, R.; GUL, H.; RAUF, M.; ARIF, M.; HAMAYUN, M.; HUSNA; KHILJI, S. A.; UD-DIN, A.; SAJID, Z. A.; LEE, I.-J. Growth-promoting endophytic fungus (*Stemphylium lycopersici*) ameliorates salt stress tolerance in maize by balancing ionic and metabolic status. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 890565, 2022.
- BARON, N. C.; RIGOBELLO, E. C. Endophytic fungi: a tool for plant growth promotion and sustainable agriculture. **Mycology**, v. 13, n. 1, p. 39-55, 2022.
- BEN RHOUMA, M.; KRIAA, M.; NASR, Y. B.; MELLOULI, L.; KAMMOUN, R. A new endophytic *Fusarium oxysporum* gibberellic acid: optimization of production using combined strategies of experimental designs and potency on tomato growth under stress condition. **BioMed Research International**, v. 2020, n. 1, p. 4587148, 2020.
- BENT, E. Induced systemic resistance mediated by plant growth-promoting rhizobacteria and fungi. In: SIDDIQUI, Zaki A. (ed.). Multigenic and induced systemic resistance in plants. Boston, MA: **Springer US**, 2006. p. 225-258.
- BITAS, V.; MCCARTNEY, N.; LI, N.; DEMERS, J.; KIM, J.-E.; KIM, H.-S.; BROWN, K. M.; KANG, S. *Fusarium oxysporum* volatiles enhance plant growth via affecting auxin transport and signaling. **Frontiers in microbiology**, v. 6, p. 1248, 2015.
- BONONI, L.; CHIARAMONTE, J. B.; PANSA, C. C.; MOITINHO, M. A.; MELO, I. S. Phosphorus-solubilizing *Trichoderma* spp. from *Amazon soils* improve soybean plant growth.

Scientific Reports, v. 10, n. 1, p. 2858, 2020.

CHUN, S. C.; PARAMASIVAN, M.; CHANDRASEKARAN, M. Proline accumulation influenced by osmotic stress in arbuscular mycorrhizal symbiotic plants. **Frontiers in microbiology**, v. 9, p. 2525, 2018.

DÍAZ-RODRÍGUEZ A. M.; COTA F. I. P.; CHÁVEZ L. A. C.; ORTEGA L. F. G.; ALVARADO M. I. E.; SANTOYO G.; SANTOS-VILLALOBOS S. Microbial inoculants in sustainable agriculture: advancements, challenges, and future directions. **Plants**, v. 14, n. 2, p.191, 2025.

EGAMBERDIEVA, D.; JABBOROVA, D.; HASHEM, A. *Pseudomonas* induces salinity tolerance in cotton (*Gossypium hirsutum*) and resistance to *Fusarium* root rot through the modulation of indole-3-acetic acid. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 22, n. 6, p. 773- 779, 2015.

FERREIRA, T. C.; LAGO, L. do; SILVA, L. G.; PACIFICO, M. G.; FARIA, M. R. de; BETTIOL, W. Potencial de *Bacillus* spp. em promover o crescimento e controlar *Fusarium verticillioides* em milho. **Summa Phytopathologica**, v. 47, n. 4, p. 195-203, 2021.

FITE, T.; KEBEDE, E.; TEFERA, T.; BEKEKO, Z. Endophytic fungi: versatile partners for pest biocontrol, growth promotion, and climate change resilience in plants. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 7, p. 1322861, 2023.

GAZOLA, V. D.; SANTOS, M. C. B. R. dos; NEGRELLI, J. G. D.; POLONIO, J. Importância de fungos do gênero *Trichoderma* para a agricultura: mecanismos de ação e melhoramento genético. **Peer Review**, v. 6, n. 16, p. 141-156, 2024.

HARMAN, G. E.; DONI, F.; KHADKA, R. B.; UPHOFF, N. Endophytic strains of *Trichoderma* increase plants' photosynthetic capability. **Journal of Applied Microbiology**, v. 130, n. 2, p. 529-546, 2021.

HOSSAIN, M. M.; SULTANA, F.; ISLAM, S. Plant growth-promoting fungi: phytostimulation and induced systemic resistance. In: SINGH, Dhananjaya Pratap; SINGH, Harikesh Bahadur; PRABHA, Ratna (ed.). Plant-microbe interactions in agro-ecological perspectives. Singapore: **Springer Singapore**, 2017. p. 135-191.

ISLAM, S.; AKANDA, M.; PROVA, A.; SULTANA, F.; HOSSAIN, M. M. Growth promotion effect of *Fusarium* spp. PPF1 from bermudagrass (*Cynodon dactylon*) rhizosphere on Indian spinach (*Basella alba*) seedlings are linked to root colonisation. **Archives of Phytopathology and Plant Protection**, v. 47, n. 19, p. 2319-2331, 2014.

MINERDI, D.; BOSSI, S.; MAFFEI, M. E.; GULLINO, M. L.; GARIBALDI, A. *Fusarium oxysporum* and its bacterial consortium promote lettuce growth and *expansin A5* gene expression through microbial volatile organic compound emission. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 76, n. 2, p. 342-351, 2011.

MIRSAM, H.; KALQUTNY, S. H.; SURIANI; AQIL, M.; AZRAI, M.; PAKKI, S.; MUIS, A.; DJAENUDDIN, N.; RAUF, A. W.; MUSLIMIN. Indigenous fungi from corn as a potential plant growth promoter and its role in *Fusarium verticillioides* suppression on corn. **Heliyon**, v. 7, n. 9, p. e07926, 2021.

MURALI, M.; NAZIYA, B.; ANSARI, M. A.; ALOMARY, M. N.; ALYAHYA, S.; ALMATROUDI, A.; THRIVENI, MC.; GOWTHAM, H. G.; SINGH, S. B.; AIYAZ, M.; KALEGOWDA, N.; LAKSHMIDEVI, N.; AMRUTHESH, K. N. Bioprospecting of rhizosphere-resident fungi: Their role and importance in sustainable agriculture. **Journal of Fungi**, v. 7, n. 4, p. 314, 2021.

PANEK, J.; GRYTA, A.; MAJ, W.; MAĆIK, M.; OSZUST, K.; PERTILE, G.; PYLAK, M.; SIEGIEDA, D.; HALLAMA, M.; HATANO, R.; KANDELER, E.; PATHAN, S. I.; PIETRAMELLARA, G.; MALUSA, E.; WEBER, J.; TURNAU, K.; RÓŻAŁSKA, S.; FRĄC, M. Plant–soil–microbiome interactions: mechanisms, advances, and challenges in sustainable agriculture and healthy agroecosystems. **Frontiers in Microbiology**, v. 17, p. 1762743, 2026.

PIETERSE, C. M. J.; ZAMIOUDIS, C.; BERENDSEN, R. L.; Weller D. M.; WEES, V. S. C. M.; BAKKER, P. A. H. M. Induced systemic resistance by beneficial microbes. **Annual Review of Phytopathology**, v. 59, p. 53–78, 2014.

RODRIGUES DE QUEIROZ, A.; HINES, C.; BROWN, J.; SAHAY, S.; VIJAYAN, J.; STONE, J. M.; BICKFORD, N.; WUELLNER, M.; GLOWACKA, K.; BUAN, N. R.; ROSTON, R. L. The effects of exogenously applied antioxidants on plant growth and resilience. **Phytochemistry Reviews**, v. 22, n. 2, p. 407-447, 2023.

SAMAL S.; RAI S.; UPADHAYA R. S. Endophytic *Fusarium* and their association with plant growth. **Microbial endophytes and plant growth beneficial interactions and applications**, p.259-268, 2023.

SEVILLANO-CAÑO, J.; NÚÑEZ-CANO, J.; PRIETO, P.; TRAPERO, A.; SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, A.R.; AGUSTÍ-BRISACH, C. The endophytic role and growth-promoting ability of the nonpathogenic strain *Fusarium oxysporum* FO12 in herbaceous hosts. **Scientia Horticulturae**, v. 332, p. 113220, 2024.

SRIJANANI, V.; MALATHI, P.; ANANDHAM, R.; SELLAMUTHU, K.; JAYASHREE, R. Harnessing endophytes: Advanced insights into nutrient acquisition and plant growth enhancement. **Plant Science Today**, v. 11, n. sp4, 2024.

TRIPATHI, R.; ARAVIND, T.; KUMAR, S.; KESWANI, C.; SINGH, S. P.; TEWARI, R.; TEWARI, A. K.; SINGH, K. P.; MINKINA T. Microbial phytohormones: the potential orchestrators of plant growth and defense. **Discover Plants**, v. 2, n. 1, p. 180, 2025.

VERMA, A.; SHAMEEM N.; JATAV, H. S.; SATHYANARAYANA, E.; PARRAY, J. A.; POCZAI, P.; SAYYED, R. Z. Fungal endophytes to combat biotic and abiotic stresses for climate-smart and sustainable agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v.13, p.953836, 2022.

ZENTENO-ALEGRÍA, C. O.; RODRÍGUEZ, L. A. Y; JIMÉNEZ. J. C.; GUTIÉRREZ, P. E. A.; GUNDE-CIMERMAN, N. G.; BATISTA-GARCÍA, R. A. Fungi beyond limits: the agricultural promise of extremophiles. **Microbial Biotechnology**, v. 17, n. 3, p. e14439, 2024.