



SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E *TRICHODERMA* SPP.: MECANISMOS DE INTERAÇÃO NA RIZOSFERA E POTENCIAL NA PROMOÇÃO DO CRESCIMENTO VEGETAL

Karen Rezende Neves¹, Luana Gabriela Gallert¹, Raquel Aparecida Alves¹, Sônia Cristina Jacomini Dias¹, Leonardo Barros Dobbss¹

¹Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Unaí, Brasil
(karen.neves@ufvjm.edu.br)

Resumo: As substâncias húmicas e fungos do gênero *Trichoderma* destacam-se entre os principais bioinsumos empregados na agricultura sustentável devido à sua capacidade de promover o crescimento vegetal, melhorar a eficiência nutricional e contribuir para a saúde do solo. Embora seus efeitos individuais sejam amplamente reconhecidos, os mecanismos envolvidos na interação entre esses agentes ainda permanecem pouco elucidados. O presente estudo teve como objetivo discutir os possíveis mecanismos de interação entre substâncias húmicas e *Trichoderma* spp., com ênfase na modulação do ambiente rizosférico e em seus reflexos sobre a promoção do crescimento vegetal. Para isso, foi realizada uma revisão narrativa da literatura científica utilizando as bases Scopus, Web of Science, ScienceDirect e Google Scholar, priorizando estudos publicados entre 2020 e 2026, complementados por referências clássicas da área. A análise da literatura demonstrou que as substâncias húmicas promovem alterações físico-químicas e microbiológicas na rizosfera, influenciando a disponibilidade de nutrientes, a exsudação radicular e a atividade de comunidades microbianas. Paralelamente, *Trichoderma* spp. apresenta elevada capacidade de colonização radicular e adaptação às condições ambientais, características que favorecem sua atuação como agente promotor do crescimento vegetal e de biocontrole. As evidências analisadas sugerem que modificações induzidas pelas substâncias húmicas no ambiente rizosférico podem favorecer o estabelecimento e a dinâmica funcional de *Trichoderma*, embora ainda sejam limitados os estudos que investigam diretamente essa interação. Dessa forma, a compreensão desses mecanismos representa uma perspectiva promissora para o desenvolvimento de bioinsumos mais eficientes e para o fortalecimento de estratégias sustentáveis na agricultura.

Palavras-chave: Substâncias húmicas; *Trichoderma*; Rizosfera; Bioinsumos; Crescimento vegetal

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por sistemas agrícolas mais sustentáveis tem impulsionado o desenvolvimento e a adoção de bioinsumos capazes de aumentar a eficiência produtiva e reduzir a dependência de fertilizantes e defensivos químicos. Nesse contexto, substâncias húmicas e microrganismos benéficos vêm se destacando devido à sua capacidade de promover o crescimento vegetal por diferentes mecanismos fisiológicos e microbiológicos. (POVEDA & EUGUI, 2022; CHEN *et al.*, 2025).

As substâncias húmicas constituem a principal fração da matéria orgânica humificada do solo e são reconhecidas como importantes bioestimulantes vegetais. Seus efeitos incluem alterações na arquitetura radicular, aumento da absorção de

nutrientes, modulação do metabolismo vegetal e maior tolerância a condições de estresse (CANELLAS & OLIVARES, 2014; NARDI *et al.*, 2021). Além dos efeitos diretos sobre as plantas, evidências recentes indicam que essas substâncias também podem influenciar a atividade biológica do solo e a composição das comunidades microbianas associadas à rizosfera (DA SILVA *et al.*, 2021).

Entre os microrganismos de interesse agrícola, fungos do gênero *Trichoderma* ocupam posição de destaque devido à sua ampla utilização como agentes de biocontrole e promotores do crescimento vegetal. Esses fungos apresentam elevada capacidade de colonização radicular, produção de metabólitos bioativos, solubilização de nutrientes e indução de



respostas fisiológicas benéficas às plantas (TYŚKIEWICZ *et al.*, 2022; CHEN *et al.*, 2025).

Apesar dos avanços obtidos no entendimento dos efeitos isolados das substâncias húmicas e de *Trichoderma* spp., ainda são limitadas as informações relacionadas aos mecanismos envolvidos na interação entre esses bioinsumos. Considerando que as substâncias húmicas podem modificar características químicas, biológicas e microbiológicas da rizosfera, é plausível supor que tais alterações influenciem o estabelecimento e a atividade biológica de microrganismos benéficos como *Trichoderma* spp., com possíveis reflexos sobre processos metabólicos associados à sua interação com a planta. (DA SILVA *et al.*, 2021; TIRADO-MALAYER *et al.*, 2025).

Diante desse cenário, o presente trabalho teve como objetivo discutir os mecanismos de interação entre substâncias húmicas e fungos do gênero *Trichoderma*, com ênfase nos possíveis efeitos sobre a atividade biológica da rizosfera, promoção do crescimento vegetal e perspectivas para o desenvolvimento de bioinsumos agrícolas sustentáveis.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo consistiu em uma revisão narrativa da literatura científica. Realizaram-se buscas nas bases de dados Scopus, Web of Science, ScienceDirect e Google Scholar utilizando os descritores “*Trichoderma*”, “humic substances”, “humic acid”, “plant growth promotion”, “rhizosphere” e “biostimulants”, de forma isolada e combinada. Foram priorizados artigos publicados entre 2020 e 2026, com o objetivo de contemplar os avanços mais recentes relacionados às substâncias húmicas, *Trichoderma* spp. e suas interações na rizosfera, complementados por referências clássicas consideradas fundamentais para a compreensão dos mecanismos fisiológicos e microbiológicos envolvidos. A seleção dos estudos foi baseada na relevância científica e na relação direta com os efeitos das substâncias húmicas, de *Trichoderma* spp. e de suas possíveis interações no ambiente rizosférico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Substâncias húmicas como moduladoras do ambiente rizosférico

As substâncias húmicas exercem importante papel na dinâmica biológica do solo, influenciando propriedades físicas, químicas e microbiológicas associadas à rizosfera. Além dos efeitos bioestimulantes já descritos para as plantas, estudos recentes demonstram que esses compostos podem modificar a disponibilidade de nutrientes, a composição dos exsudatos radiculares e a atividade

de comunidades microbianas presentes no ambiente rizosférico (NARDI *et al.*, 2021; DA SILVA *et al.*, 2021).

A rizosfera representa uma região de intensa interação entre raízes, solo e microrganismos. Nesse contexto, alterações promovidas pelas substâncias húmicas podem favorecer o estabelecimento de comunidades microbianas benéficas e estimular processos biológicos relacionados à ciclagem de nutrientes e ao crescimento vegetal. Essas características sugerem que as substâncias húmicas atuam não apenas como bioestimulantes vegetais, mas também como potenciais moduladoras das interações microbiológicas associadas ao desenvolvimento das plantas (DA CUNHA LEME FILHO *et al.*, 2020).

Trichoderma spp. como componente ativo da rizosfera

Fungos do gênero *Trichoderma* são amplamente reconhecidos por sua capacidade de estabelecer associações benéficas com plantas cultivadas e outros microrganismos presentes no solo. Seu sucesso ecológico está diretamente relacionado à elevada capacidade de colonização da rizosfera e à adaptação a diferentes condições ambientais (TYŚKIEWICZ *et al.*, 2022; GUZMÁN-GUZMÁN *et al.*, 2023).

Após o estabelecimento na região radicular, espécies de *Trichoderma* podem atuar na solubilização de nutrientes, produção de compostos bioativos, indução de resistência sistêmica e modulação de respostas fisiológicas vegetais. Essa capacidade está associada à elevada plasticidade metabólica apresentada pelo gênero, permitindo ajustes em resposta às características químicas, físicas e biológicas do ambiente (WOO *et al.*, 2014; CHEN *et al.*, 2025).

A capacidade de responder a alterações ambientais torna *Trichoderma* um modelo particularmente interessante para estudos envolvendo interações com bioinsumos capazes de modificar a dinâmica da rizosfera. Dessa forma, compreender como fatores externos influenciam sua atividade biológica e metabólica pode contribuir para o desenvolvimento de estratégias mais eficientes de promoção do crescimento vegetal e manejo sustentável dos sistemas agrícolas.

Possíveis mecanismos de interação entre substâncias húmicas e Trichoderma spp.

Embora os efeitos individuais das substâncias húmicas e de *Trichoderma* spp. estejam bem documentados, os mecanismos envolvidos em sua interação permanecem pouco explorados. (DA SILVA *et al.*, 2021).

Nesse contexto, alterações promovidas pelas substâncias húmicas na arquitetura radicular, na

disponibilidade de compostos orgânicos e na atividade microbiológica do solo podem criar condições favoráveis para a colonização e o desenvolvimento de *Trichoderma* spp. (NARDI *et al.*, 2021; TYŚKIEWICZ *et al.*, 2022).

Trabalhos recentes avaliando o uso combinado de substâncias húmicas e microrganismos benéficos demonstraram efeitos positivos sobre o desenvolvimento vegetal e a tolerância a estresses ambientais, sugerindo potencial complementaridade entre esses insumos (TIRADO-MALAYER *et al.*, 2025; TOUGHANI *et al.*, 2024).

Embora os benefícios agrônômicos associados à aplicação de substâncias húmicas e de *Trichoderma* spp. estejam amplamente documentados na literatura, permanecem limitadas as evidências experimentais capazes de elucidar como as alterações físico-químicas e microbiológicas promovidas pelas substâncias húmicas na rizosfera influenciam o estabelecimento e a dinâmica funcional de *Trichoderma*. Essa lacuna restringe a compreensão dos mecanismos subjacentes à interação entre esses bioinsumos, particularmente no que se refere aos processos envolvidos na colonização rizosférica e na

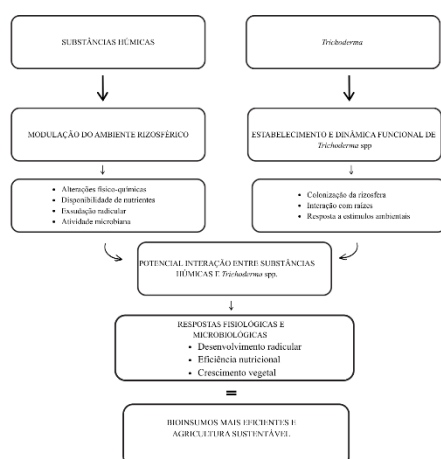
elucidados, sua compreensão poderá contribuir para o aprimoramento de tecnologias baseadas em bioinsumos e para o desenvolvimento de estratégias mais sustentáveis de manejo agrícola.

AGRADECIMENTOS

À UFVJM (Universidade Federal dos Vales de Jequitinhonha e Mucuri), pela estrutura e suporte técnico, ao Grupo de Pesquisa em Matéria Orgânica e Substâncias Húmicas (PMOSH) pelo apoio científico, discussões e contribuições para a consolidação deste trabalho e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio.

REFERÊNCIAS

- CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L. Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, v. 1, p. 3, 2014. DOI: 10.1186/2196-5641-1-3.
- CHEN, X.; LU, Y.; LIU, X.; GU, Y.; LI, F. *Trichoderma*: Dual roles in biocontrol and plant growth promotion. *Microorganisms*, v. 13, p. 1840, 2025. DOI: 10.3390/microorganisms13081840.
- DA CUNHA LEME FILHO, J. F.; THOMASON, W.; EVANYLO, G.; ZHANG, X.; STRICKLAND, M.; CHIM, B. K.; DIATTA, A. The synergistic effects of humic substances and biofertilizers on plant development and microbial activity: A review. *International Journal of Plant & Soil Science*, v. 32, p. 56–75, 2020. DOI: 10.9734/IJPSS/2020/v32i730306.
- DA SILVA, M. S. R. A.; DOS SANTOS, B. M. S.; DA SILVA, C. S. R. A.; ANTUNES, L. F. S.; DOS SANTOS, R. M.; SANTOS, C. H. B.; RIGOBELLO, E. C. Humic substances in combination with plant growth-promoting bacteria as an alternative for sustainable agriculture. *Frontiers in Microbiology*, v. 12, p. 719653, 2021. DOI: 10.3389/fmicb.2021.719653.
- GUZMÁN-GUZMÁN, P.; KUMAR, A.; DE LOS SANTOS-VILLALOBOS, S.; PARRA-COTA, F. I.; OROZCO-MOSQUEDA, M. C.; FADIJI, A. E.; HYDER, S.; BABALOLA, O. O.; SANTOYO, G. *Trichoderma* species: Our best fungal allies in the biocontrol of plant diseases—A review. *Plants*, v. 12, p. 432, 2023. DOI: 10.3390/plants12030432.
- NARDI, S.; SCHIAVON, M.; FRANCIOSO, O. Chemical structure and biological activity of humic substances define their role as plant growth promoters. *Molecules*, v. 26, p. 2256, 2021. DOI: 10.3390/molecules26082256.



promoção do crescimento vegetal.

Figura 1. Modelo conceitual dos possíveis mecanismos de interação entre substâncias húmicas e *Trichoderma* spp. na rizosfera e seus reflexos sobre respostas fisiológicas vegetais.

CONCLUSÃO

As evidências discutidas indicam que substâncias húmicas e fungos do gênero *Trichoderma* atuam por mecanismos distintos, porém potencialmente complementares, no ambiente rizosférico. Alterações promovidas pelas substâncias húmicas na dinâmica físico-química e microbiológica da rizosfera podem influenciar processos associados ao estabelecimento e à atuação de microrganismos benéficos, incluindo *Trichoderma* spp. Embora os mecanismos envolvidos nessa interação ainda não estejam completamente



POVEDA, J.; EUGUI, D. Combined use of Trichoderma and beneficial bacteria (mainly Bacillus and Pseudomonas): Development of microbial synergistic bio-inoculants in sustainable agriculture. Biological Control, v. 176, p. 105100, 2022. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2022.105100.

TIRADO-MALAYER, R. H.; TIRADO-LARA, R. Combined use of humic acids and Trichoderma harzianum as sustainable alternatives to alleviate salt stress in bell pepper. Brazilian Journal of Biology, v. 85, e289492, 2025. DOI: 10.1590/1519-6984.289492.

TOUGHANI, S.; JAFARZADEH KENARSARY, M.; DEHGHANZADEH, H. Effect of growth-promoting bacteria, Trichoderma fungus and humic acid on yield and yield components of wheat var. Ofogh. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, v. 34, n. 2, p. 121–135, 2024. DOI: 10.22034/saps.2023.56028.3019.

TYŚKIEWICZ, R.; NOWAK, A.; OZIMEK, E.; JAROSZUK-ŚCISEŁ, J. Trichoderma: The current status of its application in agriculture for the biocontrol of fungal phytopathogens and stimulation of plant growth. International Journal of Molecular Sciences, v. 23, p. 2329, 2022. DOI: 10.3390/ijms23042329.

WOO, S. L.; RUOCCO, M.; VINALE, F.; NIGRO, M.; MARRA, R.; LOMBARDI, N.; PASCALE, A.; LANZUISE, S.; MANGANIELLO, G.; LORITO, M. Trichoderma-based products and their widespread use in agriculture. The Open Mycology Journal, v. 8, p. 71–126, 2014. DOI: 10.2174/1874437001408010071.