

## MICROORGANISMOS NA NUTRIÇÃO DE PLANTAS: BENEFÍCIOS DAS MICORRIZAS E BACTÉRIAS FIXADORAS DE NITROGÊNIO

**Alejandro Pio de Souza<sup>1</sup>, Maria Gabriela Valim Cabral<sup>1</sup>, Camila Marques Meneguelli<sup>1</sup>, Bianca Callegari Freitas<sup>1</sup>, Fábio Ramos Alves<sup>1</sup>, Mayra Maniero Rodrigues<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal do Espírito Santo/Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Alto Universitário s/nº, 29500-000 – Alegre - ES, Brasil, alejandrops621@gmail.com, mariagabrielaalimcabral@gmail.com, camilameneguelli123@gmail.com, bianca.callegarifreitas, fabio.alves@ufes.br.

<sup>2</sup> Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo - USP, Av. Pádua Dias, 11 - Agronomia, Piracicaba - SP São Paulo-SP, Brasil, mayra.rodrigues@usp.br

### Resumo

É essencial adotar práticas de manejo do solo que visem sua sustentabilidade da agricultura a longo prazo. Esse novo paradigma, conhecido como "construção do solo", se baseia em técnicas que melhoram suas propriedades químicas, físicas e biológicas. Dentre as práticas mais recomendadas, destacam-se a adubação orgânica, adubação verde, uso de micorrizas e bactérias fixadoras de nitrogênio. Micorrizas são interações simbióticas entre fungos e raízes de plantas. Elas ajudam na absorção de nutrientes essenciais, como o fósforo, e aumentam a resistência das plantas a pragas, doenças e estresses ambientais. Um exemplo é o fungo *Claroideoglomus etunicatum*, que beneficia o crescimento vegetal após o transplante. Já a fixação biológica de nitrogênio, realizada por bactérias como *Rhizobium* e *Azospirillum*, reduz a necessidade de fertilizantes nitrogenados, minimizando os impactos ambientais negativos. Essa técnica aumenta a produtividade de culturas como a soja e a cana-de-açúcar. Ambas as simbioses são cruciais para aprimorar a saúde do solo, elevar a produção agrícola e promover a sustentabilidade, diminuindo a dependência de fertilizantes químicos.

**Palavras-chave:** Simbiose. Ciclagem de nutrientes. Sustentabilidade. Nutrição de plantas.

**Área do Conhecimento:** Engenharia Agrônômica – Agronomia

### Introdução

A elevada produtividade na agricultura é fortemente influenciada pela fertilização mineral. Contudo, as plantas cultivadas costumam absorver apenas metade dos fertilizantes utilizados, e quando associados ao manejo incorreto, podem ser perdidos via lixiviação para os lençóis freáticos, incorporados ao solo ou volatilizados, levando à contaminação do ar. Portanto, é essencial melhorar a eficiência na absorção e utilização dos nutrientes para diminuir despesas e minimizar os efeitos no meio ambiente.

Para garantir a sustentabilidade na produção vegetal, é necessário adotar um novo conceito baseado na 'construção da fertilidade do solo', utilizando insumos que aprimorem suas propriedades químicas, físicas e biológicas a longo prazo, como o uso de micorrizas e bactérias fixadoras de nitrogênio na agricultura. As micorrizas são associações mutualísticas, onde fungos e plantas se beneficiam reciprocamente. Os fungos aumentam a absorção de água e nutrientes minerais, especialmente fósforo (P), enquanto as plantas fornecem carboidratos produzidos na fotossíntese.

Além das micorrizas, a fixação biológica de nitrogênio é uma prática sustentável que reduz a necessidade de fertilizantes nitrogenados. Esse processo ocorre por meio de microrganismos diazotrofos, que convertem nitrogênio atmosférico (N<sub>2</sub>) em amônia (NH<sub>3</sub>), tornando-o acessível às plantas. Exemplos incluem a simbiose entre leguminosas e bactérias dos gêneros *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azorhizobium*, *Photorhizobium* e *Sinorhizobium*.

## A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Diante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo avaliar o potencial do uso de microrganismos benéficos, como micorrizas e bactérias fixadoras de nitrogênio, na promoção da nutrição de plantas e na melhoria da eficiência do uso de fertilizantes em sistemas agrícolas. Busca-se compreender como essas interações biológicas contribuem para a sustentabilidade da produção vegetal, a redução dos impactos ambientais associados à adubação convencional e a construção de um sistema agrícola mais resiliente e regenerativo.

### Metodologia

Para esta pesquisa, seguiu-se uma metodologia baseada na revisão bibliográfica de publicações relacionadas aos benefícios de micorrizas e bactérias fixadoras de nitrogênio na nutrição de plantas. Foram selecionados trabalhos que abordam a diversidade de espécies envolvidas nessas simbioses, os mecanismos de interação com as plantas hospedeiras, os efeitos na absorção de nutrientes e no crescimento vegetal, bem como os impactos na produtividade agrícola e na sustentabilidade dos sistemas de cultivo. Além disso, foram considerados estudos que discutem os desafios e limitações da aplicação prática dessas associações em diferentes contextos agrícolas.

### Resultado

As micorrizas são associações mutualísticas, isto é, uma relação ecológica entre indivíduos de espécies distintas, na qual tanto a planta quanto o fungo se beneficiam. Nesta interação simbiótica, o fungo amplia a área de captação de água e nutrientes minerais, particularmente P das raízes vegetais. Por outro lado, a planta disponibiliza para o fungo os carboidratos gerados durante a fotossíntese. Essa interação simbiótica é comum na maioria das plantas vasculares, sejam elas nativas ou cultivadas. Em todas as gimnospermas, 83% das dicotiledôneas e 79% das monocotiledôneas essas associações mutualísticas são encontradas. No entanto, as famílias *Brassicaceae*, *Chenopodiaceae*, *Proteaceae* e *Cyperaceae* não possuem micorrizas. Não existem micorrizas em todas as espécies de plantas aquáticas ou cultivadas por hidroponia. Em relação às condições ambientais, essa simbiose não se forma em ambientes extremos, como solos secos, alagados, salinos ou com fertilidade excessiva ou insuficiente (Taiz e Zeiger, 2017).

Esta associação não só aprimora a absorção de nutrientes, particularmente o fósforo, como também a aquisição de água e o aumento da resistência das plantas a vários estresses bióticos e abióticos, sendo considerada, segundo Smith e Read (1997), essencial ecologicamente. Ao fornecer carboidratos ao fungo, este explora a água e os minerais do solo fornecendo-os às plantas, especialmente em situações de restrição de nutrientes (Smith e Smith, 1990; Kothari et al., 1990).

As micorrizas podem ser classificadas como ectomicorrizas ou endomicorrizas. As ectomicorrizas não atingem as células radiculares e são encontradas nos filos Ascomycota, Basidiomycota e Zygomycota. Por outro lado, as endomicorrizas penetram nas células, porém sem romper a membrana plasmática, e todos os seus membros são do filo Glomeromycota (Costa, 2024). Tanto uma classe quanto a outra são encontradas em gimnospermas e angiospermas, embora as ectomicorrizas só sejam encontradas em angiospermas lenhosas (Méndez et al., 2020). Há também as ectoendomicorrizas, que apresentam atributos de ambas as categorias (Souza et al., 2006).

Na simbiose, a fixação biológica do  $N_2$  ocorre principalmente com bactérias dos gêneros *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azotobacter*, *Clostridium* e *Azospirillum* (Moreira et al., 2010). Dentre as interações simbióticas mais estudadas está aquela entre microrganismos fixadores de nitrogênio e leguminosas. A interação inicia-se com a liberação de flavonoides na rizosfera, reconhecidos pelos microsimbiontes, que estimulam a multiplicação dos rizóbios e a expressão de genes noduladores (Redmond et al., 1986). Esses genes codificam fatores Nod, oligossacarídeos reconhecidos por receptores LysM da planta hospedeira, ativando a transdução de sinais para a invasão dos pelos radiculares e formação de nódulos (Riely et al., 2004; Geurts et al., 2005).

A fixação do nitrogênio atmosférico ( $N_2$ ) exige a quebra da ligação tripla entre seus átomos, um processo que demanda alta quantidade de energia (Masson-Boivin e Sachs, 2018). Quando realizada industrialmente, pela síntese de Haber-Bosch, essa conversão requer um grande consumo de combustíveis fósseis, além de condições extremas de temperatura e pressão, com a presença de um metal catalisador, geralmente ferro. Por isso, a Fixação Biológica do Nitrogênio é tão relevante, pois

## A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

ocorre por meio da enzima nitrogenase, encontrada em todos os organismos fixadores de nitrogênio (Kaba et al., 2019).

Na fixação biológica de nitrogênio, o  $N_2$  precisa receber elétrons para ser reduzido e, assim, ser incorporado aos hidrocarbonetos formados na fotossíntese (Dey et al., 2021). Enquanto na fixação industrial o ferro reduzido desempenha o papel de doador de elétrons (Zhang et al., 2022), na fixação biológica de nitrogênio essa função cabe à nitrogenase (Einsle e Rees, 2020).

### Discussão

A integração de micorrizas e bactérias fixadoras de nitrogênio na agricultura tem sido amplamente investigada, mas ainda apresenta desafios conceituais e práticos que merecem aprofundamento. Micorrizas arbusculares desempenham um papel crucial em regiões com limitações nutricionais, isso ocorre porque as hifas dos fungos, que podem chegar a até 100 m de hifas/cm<sup>3</sup> (Miller et al., 1995), ampliam a superfície que o sistema radicular das plantas explora, facilitando a absorção de nutrientes de baixa mobilidade. De acordo com Heijden et al. (1998), citados por Miranda (2008), a população de fungos micorrízicos nos solos é vista como um dos elementos cruciais para a preservação da biodiversidade e a funcionalidade dos ecossistemas.

Em um estudo conduzido em ambiente controlado, foram realizados testes para verificar a eficácia do fungo *Claroideoglomus etunicatum* como opção de inoculação. Os resultados mostraram uma taxa de sobrevivência de 100,0% das plantas micorizadas após o transplante para o campo, em comparação com as mudas não micorizadas, que apresentaram uma taxa inicial de 77,7%. Esse fungo teve um papel fundamental no estabelecimento das plantas no solo, resultando em uma redução significativa no tempo necessário para a produção (Silva et al., 2022).

No contexto da fixação biológica de nitrogênio, a atuação desses microrganismos contribui para reduzir a dependência de fertilizantes químicos, o que, por sua vez, auxilia na mitigação da poluição de corpos d'água, do solo e da atmosfera. Tal benefício decorre da diminuição de processos como a lixiviação e a volatilização de nutrientes, que apresentam impactos negativos sobre o meio ambiente (Pascutti et al., 2024).

Ao examinar a relação entre a inoculação inicial de mudas pré-brotadas com *Azospirillum brasilense* e a aplicação de fertilização nitrogenada no crescimento das plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), Gonçalves et al. (2020) notaram que a aplicação de doses de nitrogênio em cobertura levou a um crescimento linear na altura da planta, diâmetro do colmo, número de folhas por planta, número de perfilhos e produção de matéria seca das plantas inoculadas com *Azospirillum brasilense*. Na ausência de inoculação, a fertilização com nitrogênio promoveu apenas o aumento no número de folhas e perfilhos por planta.

Segundo Soares et al (2022), a introdução de *Azospirillum brasilense* em sementes de sorgo (*Sorghum bicolor*) leva a um incremento de 14% na produção de grãos, mesmo quando se planta durante a entressafra, sob condições de seca intensa, no cerrado brasileiro. Adicionalmente, essa abordagem possibilita uma diminuição de 25% na adubação nitrogenada do sorgo granífero BRS 307, sem comprometer a produtividade (Mortate et al., 2020).

Todavia, alguns fatores podem limitar a atuação desses microrganismos. A disponibilidade de nutrientes, por exemplo, exerce influência direta na formação das simbioses. Quando os níveis de nitrogênio (N) e fósforo (P) no solo são elevados, a planta tende a regular negativamente esse processo, reduzindo ou até mesmo inibindo o estabelecimento da simbiose (Oliveira Júnior, 2014).

A compatibilidade funcional entre a bactéria e as micorrizas também pode influenciar a eficácia da simbiose. Isso ocorre porque a interação entre as micorrizas e a estirpe inoculada pode diminuir ou incrementar a eficácia de uma estirpe. A evidência disso pode ser vista no estudo conduzido por Siqueira et al, (1998) no qual a micorriza torna as estirpes inoculadas mais eficazes na disputa pelo local de infecção com as estirpes nativas do solo, elevando a presença da estirpe inoculada nos nódulos (Siqueira et al, 1998).

As propriedades físicas do solo podem afetar a simbiose, diminuindo a colonização pelas micorrizas e reduzindo a eficiência da fixação biológica de nitrogênio. Essa influência negativa varia conforme a espécie, tanto de leguminosa quanto de micorrizas e rizóbios. A classe do solo e a textura são algumas das características edáficas que podem influenciar a simbiose tripartite (Siqueira et al, 1998).

## Conclusão

As micorrizas são essenciais para a absorção de nutrientes, resistência a estresses bióticos e abióticos e para a biodiversidade dos ecossistemas. Fungos como *Claroideoglomus etunicatum* demonstram benefícios para o estabelecimento e sobrevivência das plantas após o transplante para o campo. A fixação biológica de nitrogênio reduz a necessidade de fertilizantes nitrogenados e os impactos ambientais, além de melhorar a produtividade de culturas como soja e cana-de-açúcar. Estas simbioses são cruciais para melhorar a saúde do solo e a produtividade das plantas, além de promoverem práticas agrícolas mais sustentáveis. Ao integrar micorrizas e bactérias fixadoras de nitrogênio, é possível otimizar o uso de nutrientes e reduzir o impacto ambiental de fertilizantes químicos.

## Referências

- COSTA, B. **A simbiose micorrízica em agroecossistemas**. São Paulo: Editora da USP, 2024.
- DEY, S. et al. Nitrogen fixation: a review on current research and future prospects. **Molecular Biology Reports**, v. 48, n. 1, p. 743-755, 2021.
- EINSLE, O.; REES, D. C. The nitrogenase enzyme: a molecular overview. **Chemical Reviews**, v. 120, n. 11, p. 484-489, 2020.
- GEURTS, R. et al. Symbiotic nitrogen fixation: a review of current research. **New Phytologist**, v. 165, n. 2, p. 34-45, 2005.
- GONÇALVES, M. C. et al. Nitrogênio e *Azospirillum brasilense* no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar. **Colloquium Agrariae**, v. 16, n. 2, p. 72-81, 2020.
- KABA, J. S. et al. Atmospheric nitrogen fixation by gliricidia trees (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp.) intercropped with cocoa (*Theobroma cacao* L.). **Plant and Soil**, v. 435, p. 323-336, 2019.
- KOTHARI, S. K. et al. Effect of mycorrhizal fungi on phosphorus uptake and growth of maize. **Plant and Soil**, v. 126, n. 1, p. 43-52, 1990.
- MASSON-BOIVIN, C.; SACHS, J. L. Symbiotic nitrogen fixation: from genetics to ecology. **Current Biology**, v. 28, n. 13, p. R729-R733, 2018.
- MORTATE, R. K. et al. Resposta de Sorgo Inoculado com *Azospirillum brasilense* a Doses de Nitrogênio em Cobertura. **Revista Ciência Agrícola**, v. 18, n. 1, p. 65-72, 2020.
- MÉNDEZ, D. B. et al. Mycorrhizal symbiosis in woody angiosperms. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 3, p. 123-456, 2020.
- MILLER, R. M. et al. Mycorrhizae, plant growth, and phosphorus uptake. In: BETHLENFALVAY, G. J. et al. (eds.). **Mycorrhizae and Plant Development**. Boca Raton: CRC Press, 1995. p. 95-104.
- MIRANDA, J. P. **Fungos micorrízicos e biodiversidade do solo**. Brasília: Embrapa, 2008.
- MOREIRA, F. M. S. et al. **Fixação biológica de nitrogênio na agricultura brasileira**. Londrina: IAPAR, 2010.
- OLIVEIRA JUNIOR, J. Q. **Estudo de associação entre bactérias fixadoras de nitrogênio e fungos micorrízicos arbusculares associados a leguminosas do grupo das piptadenias**. 2014.

Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2014.

PASCUTTI, M. C. D.; SILVESTRE, R. D. S. F.; ORTIZ, T. A. O papel dos microrganismos na agricultura sustentável: uma revisão. **DELOS: Desarrollo Local Sostenible**, Curitiba, v. 17, n. 52, p. 01-18, 2024.

REDMOND, J. W. et al. Flavonoid production in the rhizosphere of legume plants. **Planta**, v. 167, n. 1, p. 111-118, 1986.

RIELY, B. K. et al. Nodulation genes in Rhizobium: an update. **Plant Physiology**, v. 134, n. 1, p. 43-52, 2004.

SILVA, M. M. et al. Efficacy of *Claroideoglomus etunicatum* as a bioinoculant in tomato cultivation. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 57, p. e00122, 2022.

SIQUEIRA, J. O. et al. Mycorrhizal colonization and mycothpic growth of native woody species as related to successional groups in sotheastern Brazil. **Forest Ecology Management**, v. 107, p. 241-252, 1998.

SOARES, D. D. A. et al. Inoculação com *Azospirillum* combinada com adubação nitrogenada em sorgo consorciado com *Urochloa* na entressafra. **Revista Ceres**, v. 69, n. 2, p. 227-235, 2022.

SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal Symbiosis**. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 1997.

SMITH, S. E.; SMITH, F. A. Mycorrhizal symbiosis: its role in plant nutrition. **New Phytologist**, v. 115, n. 3, p. 325-334, 1990.

SOUZA, V. P. et al. Tipos de micorrizas e sua importância na agricultura. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 5, p. 89-98, 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

ZHANG, J. et al. Industrial nitrogen fixation using iron as a catalyst: a review. **Chemical Engineering Journal**, v. 434, p. 134-585, 2022.

## Agradecimentos

Os articulistas deste estudo agradecem à Universidade Federal do Espírito Santo pelo fornecimento do ensino de qualidade; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), pela concessão de bolsa de iniciação científica, mestrado e doutorado.