

## **SIMBIOSE TRIPARTITE FAVA-RIZÓBIO-MICORRIZA EM SOLO TROPICAL DE BAIXA FERTILIDADE: EFEITO NO CRESCIMENTO VEGETAL**

Bruna Wurr Rodak<sup>1</sup>, Douglas Siqueira Freitas<sup>2</sup>, Daniel Venâncio de Paula Correia<sup>3</sup>, Pedro Heinrich Panzner<sup>1</sup>, Gabriel Santana Marques<sup>1</sup>, Manoel Antônio Garcez Costa<sup>1</sup>, Tawany Vieira da Silva<sup>2</sup>, Thauane Medeiros Lima<sup>2</sup> e Matheus Martins Alvarenga<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade do Oeste Paulista (Unoeste), brunarodak@unoeste.br

<sup>2</sup>Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)

<sup>3</sup>Universidade Federal de Lavras (UFLA)

### **PROBLEMÁTICA**

As práticas de manejo nutricional são essenciais para garantir a sustentabilidade da agricultura em solos tropicais usualmente de baixa fertilidade natural. Estes solos apresentam baixos níveis de nutrientes, com destaque para os macronutrientes fósforo (P) e nitrogênio (N).

A principal causa da baixa disponibilidade de P para as plantas em solos intemperizados é a elevada estabilidade dos fosfatos com a fase sólida do solo, decorrente da formação de compostos com alta energia de ligação e especificidade com os coloides, especialmente os oxi-hidróxidos de ferro (Fe) e de alumínio (Al). Esse fenômeno é denominado de “fixação de P” ou “P não-lábil”, caracterizado pela baixa reversibilidade do P para a solução do solo, tornando-se indisponível para absorção pelas plantas. Em termos práticos, faz-se necessário a aplicação de altas doses de fertilizantes fosfatados para garantir os índices produtivos (Tiessen, 2005).

Em relação ao N, a matéria orgânica do solo (MOS) é a principal reserva desse macronutriente para as plantas. A mineralização da matéria orgânica é um dos principais mecanismos de liberação de N no solo, mediado pela atividade de microrganismos decompositores. Em condições tropicais, caracterizadas por elevadas temperaturas e intensa precipitação pluviométrica, a taxa de mineralização geralmente é elevada, resultando em uma rápida liberação de N. Essa rápida liberação, juntamente com a precipitação pluviométrica, pode causar perdas de N por lixiviação. Durante esse processo, a água percola no perfil do solo, carregando consigo o N e tornando-o indisponível para as plantas. Contudo, sob altas temperaturas, a produção de biomassa vegetal aumenta, o que contrabalança o efeito das elevadas taxas de mineralização. Além disso, a interação da matéria orgânica com os minerais predominantes nos solos tropicais proporciona grande estabilidade para MOS. Isso significa que, mesmo em condições climáticas favoráveis à atividade microbiana, a decomposição é reduzida. Dessa forma, nas condições de cultivo tropicais, são amplamente adotadas estratégias de manejo para superar as limitações impostas pela baixa disponibilidade de N às plantas. Por exemplo, a manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo, com a adoção do plantio direto, o cultivo de espécies leguminosas que realizam o processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN) e a aplicação da adubação nitrogenada (Martius et al., 2002).

Nesse cenário, o emprego de abordagens de manejo biológicas combinadas/integradas, como a inoculação de fungos micorrizicos arbusculares (FMAs) e bactérias fixadoras de gás nitrogênio (N<sub>2</sub>), pode se tornar uma estratégia

ideal para atender à demanda desses macronutrientes pelas plantas cultivadas em solos com baixa fertilidade.

### CONHECIMENTO PRÉVIO

A “simbiose” é uma interação biológica entre organismos diferentes, resultando em benefícios mútuos. Do ponto de vista do manejo nutricional de sistemas agrícolas, destaque deve ser dado à simbiose tripartite entre certas espécies de plantas leguminosas (família *Fabaceae*), fungos micorrízicos e bactérias fixadoras de N<sub>2</sub>. Essa associação simbiótica promove maior absorção de água e nutrientes, beneficiando o crescimento das plantas (Antunes, Goss, 2005). Os FMAs estabelecem estruturas especializadas chamadas arbúsculos nas raízes, aumentando a capacidade das plantas em absorver água e nutrientes, especialmente P, uma vez que o volume do solo explorado pelas raízes das plantas é ampliado (Baum et al., 2015). Já a FBN é uma interação complexa e específica entre bactérias diazotróficas, com destaque para o gênero *Bradyrhizobium*, comumente conhecidos como rizóbios, e plantas leguminosas, resultando na formação de nódulos radiculares. Nesses nódulos, ocorrem a conversão do N<sub>2</sub> atmosférico a formas nitrogenadas que podem ser assimiladas pelas plantas (Garg, Geetanjali, 2009).

Em termos práticos, o emprego da simbiose tripartite é uma prática de manejo viável e sustentável em sistemas agrícolas desenvolvidos em solos tropicais de baixa fertilidade, uma vez que possibilita superar as limitações nutricionais, principalmente dos macronutrientes N e P (Barea et al., 2005). Nesse contexto, destaca-se o cultivo de leguminosas alternativas, como o feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.), que é comumente realizado por agricultores familiares em solos de baixa fertilidade no Brasil (Barbosa, Arriel, 2018). O objetivo deste estudo foi investigar o efeito sinérgico da co-inoculação de FMAs e da FBN no crescimento das plantas de feijão-fava cultivadas em um solo com baixos teores disponíveis de N e P.

### DESCRIÇÃO DA PESQUISA

Em casa de vegetação plantas de feijão-fava foram cultivadas em vasos (3,5 L) contendo solo com baixos teores dos macronutrientes N e P, onde quatro tratamentos foram testados: 1) Sem inoculação – controle (nomeadamente de –F–B); 2) Com inoculação isolada de bactérias fixadoras de N<sub>2</sub> (–F+B); 3) Com inoculação isolada de FMAs (+F–B); e 4) Com inoculação combinada de bactérias e fungos (+F+B). Os tratamentos foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições.

O solo utilizado no experimento foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico (Embrapa Solos, 2018), classe textural muito argilosa, com teores de 13,4 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica (método Walkley e Black) e 0,56 mg de P kg<sup>-1</sup> (extrator Mehlich-1). O solo foi esterilizado em autoclave a 120 °C por 2 h por dois dias consecutivos. Em seguida, o pH foi corrigido com calagem e a adubação realizada no momento da semeadura conforme preconizado por Embrapa Cerrados (2004), exceto para N e P – os quais foram manejados em doses baixas visando apenas estimular o desenvolvimento inicial dos microrganismos simbióticos. Para reduzir a carga microbiana, as sementes de feijão-fava foram desinfetadas com etanol e hipoclorito de sódio, em seguida, realizou-se a semeadura. Nesse momento, para aplicação dos tratamentos –F+B e +F+B as sementes foram inoculadas com 2 mL de uma

suspensão de bactérias fixadoras de N<sub>2</sub> – *Bradyrhizobium japonicum*, contendo 10<sup>9</sup> unidades formadoras de colônia por mililitro. Já o inóculo dos FMAs, constituído de 50 cm<sup>3</sup> de uma mistura de solo com 60 esporos de *Glomus macrocarpum* e 40 esporos de *Acaulospora colombiana*, foi aplicado ao solo dos vasos dos tratamentos +F–B e +F+B. Na condução do experimento, a irrigação foi realizada diariamente com água deionizada, mantendo a umidade do solo próximo à capacidade de campo.

No estágio fenológico R6 – primeira flor aberta em 50% das plantas (Fernández et al., 1986), correspondente a 55 dias após a semeadura, as plantas foram colhidas para determinação da matéria seca da parte aérea e do sistema radicular.

Os dados obtidos foram submetidos a testes de normalidade, seguida da análise de variância e, quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A inoculação de FMAs e bactérias fixadoras de N<sub>2</sub>, isolada ou combinada, afetou o crescimento das plantas de feijão-fava. Nas condições estudadas de deficiência de P e N no solo, o tratamento +F+B aumentou 1,6 vezes a matéria seca da parte aérea e 2,4 vezes a matéria seca do sistema radicular em comparação ao controle (–F–B). Os tratamentos com inoculação isolada +F–B e –F+B não se sobressaíram ao +F+B. Esses resultados demonstraram o efeito sinérgico da co-inoculação no crescimento das plantas (Figura 1).

A inoculação de FMAs contribuiu para um maior desenvolvimento do sistema radicular das plantas de fava, provavelmente resultando em uma maior absorção de água e nutrientes, especialmente P. Esse macronutriente desempenha diversas funções essenciais nas plantas, como a síntese e transferência de energia durante a fotossíntese, por atuar na conversão da luz solar em energia química nas células vegetais. Além disso, o P participa da transferência e armazenamento de energia, da síntese de ácidos nucleicos, da ativação de enzimas e da regulação de processos metabólicos relacionados à produção de proteínas. Também desempenha um papel importante na divisão celular, formação de tecidos vegetais e produção de hormônios de crescimento, afetando diretamente o crescimento e desenvolvimento das plantas (Hawkesford et al., 2022).

Presumivelmente, o melhor status de P nas plantas de feijão-fava beneficiou a FBN no tratamento +F+B. Isso se deve principalmente à função desempenhada pelo P na síntese, transferência e armazenamento de energia nas plantas. No processo de FBN, é necessária energia para converter o N<sub>2</sub> atmosférico em formas assimiláveis pelas plantas. Nesse contexto, o tratamento –F+B evidencia esse comportamento, uma vez que foi observado um efeito negativo no crescimento das plantas, com os valores de matéria seca da parte aérea e raiz igual ou inferior ao controle (Figura 1). Esse resultado pode ser justificado pela deficiência de P, levando a um déficit energético no sistema.

A melhoria do status nutricional de N é fundamental para o crescimento das plantas. O N é componente dos aminoácidos, que são os precursores das proteínas. As proteínas, por sua vez, desempenham funções vitais em processos metabólicos, transporte de nutrientes, regulação hormonal e resposta a estresses. Além disso, o N é essencial para a síntese da clorofila, o pigmento responsável pela captura da luz solar durante a fotossíntese. Esse macronutriente também participa da ativação de

várias enzimas envolvidas em vias metabólicas e é componente essencial dos ácidos nucleicos. Além disso, o N desempenha um papel no transporte de elétrons em várias vias metabólicas, incluindo a respiração celular e a FBN (Hawkesford et al., 2022).

### **APLICAÇÃO PRÁTICA**

A co-inoculação de FMAs e bactérias fixadoras de N<sub>2</sub> apresentou um sinergismo para o crescimento das plantas de feijão-fava, sugerindo melhorias no status nutricional das plantas, principalmente para os macronutrientes P e N. Esse sinergismo otimiza o sistema de cultivo dessa leguminosa, possibilitando aumento da produtividade em função do maior desenvolvimento das plantas. Além disso, a co-inoculação colabora para a melhoria da fertilidade do solo, o que pode levar a redução da necessidade de uso de fertilizantes fosfatados e nitrogenados. Isso não só apenas minimiza os impactos ambientais, mas também diminui os custos de produção.

Tecnologias de manejo agrícola que aumentam a produtividade e a rentabilidade, como a simbiose tripartite entre leguminosas, rizóbios e micorrizas, desempenham um papel fundamental na permanência de agricultores familiares no campo, como os produtores brasileiros de feijão-fava.

Nosso estudo está alinhado com a Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas que busca promover os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, com destaque para “fome zero e agricultura sustentável”, “ação contra a mudança global climática” e “trabalho decente e crescimento econômico” (ONU, 2023).

### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem as agências de fomento Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), bem como a Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG) pela parceria técnico-científica nessa pesquisa.

### **LITERATURA CITADA**

ANTUNES, P. M.; GOSS, M. J. Communication in the tripartite symbiosis formed by arbuscular mycorrhizal fungi, rhizobia and legume plants: A review. In: ZOBEL, R. W.; WRIGHT, S. F. **Roots and soil management: interactions between roots and the soil**. Wisconsin: American Society of Agronomy-Crop Science Society of America-Soil Science Society of America, 2005. p. 199–222. doi:10.2134/agronmonogr48.c11

BAUM, C.; EL-TOHAMY, W.; GRUDA, N. Increasing the productivity and product quality of vegetable crops using arbuscular mycorrhizal fungi: A review. **Scientia Horticulturae**, v. 187, p. 131–141, 2015.

BARBOSA, G. J.; ARRIEL, N. H. C. Feijão-fava e a agricultura familiar de Serraria, PB. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 35, n. 3, p. 387–403, 2018.

BAREA, J. M.; WERNER, D.; AZCÓN-GUILAR, C.; AZCÓN, R. Interactions of arbuscular mycorrhiza and nitrogen-fixing symbiosis in sustainable agriculture. In: WERNER, D.; NEWTON, W. E. (Eds.) **Nitrogen fixation in agriculture, forestry, ecology, and the environment. nitrogen fixation: origins, applications, and**

**research progress.** Dordrecht: Springer, 2005. p. 199–222. doi:[10.1007/1-4020-3544-6\\_10](https://doi.org/10.1007/1-4020-3544-6_10)

EMBRAPA CERRADOS. **Cerrado: Correção do solo e adubação.** 2. ed. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, 2004. 416 p.

EMBRAPA SOLOS. **Sistema brasileiro de classificação de solos – revista e ampliada.** 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018. 356 p.

FERNÁNDEZ, F.; GEPTS, P.; LÓPES, M. **Etapas de desarrollo de la planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).** Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1986. 33 p.

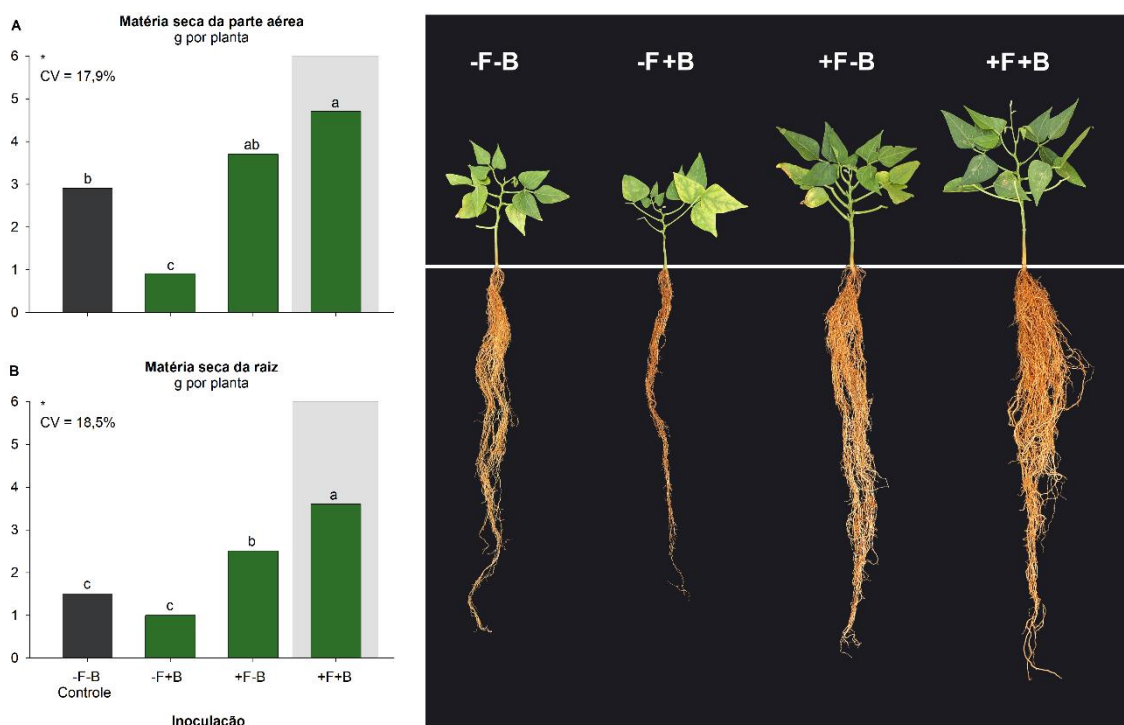
GARG, N.; GEETANJALI. Symbiotic nitrogen fixation in legume nodules: Process and signaling: a review. In: LICHTFOUSE, E.; NAVARRETE, M.; DEBAEKE, P.; VÉRONIQUE, S.; ALBEROLA, C. (Eds.). **Sustainable agriculture.** Dordrecht: Springer, 2009. p. 519–531. doi:10.1051/agro:2006030

HAWKESFORD, M. J.; CAKMAK, I.; COSKUN, D.; KOK, L. J.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J. K.; WHITE, P. J. Functions of macronutrients. In: RENGEL, Z.; CAKMAK, I.; WHITE, P. J. **Marschners’s mineral nutrition of plants.** 4. ed. London: Elsevier, 2022. p. 201–282.

MARTIUS, C.; TIESSEN, H.; VLEK, P. L. G. **Managing organic matter in tropical soils: scope and limitations.** Dordrecht: Springer, 2002. 236 p. doi: 10.1007/978-94-017-2172-1

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (2023). **17 objetivos de desenvolvimento sustentável.** Disponível em <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs> (Acessado 21 Jun. 2023)

TIESSEN, H. Phosphorus dynamics in tropical soils. In: SIMS, T.; SHARPLEY, A. N. (Eds.). **Phosphorus: Agriculture and the environment.** Wisconsin: The American Society of Agronomy, Crop Science Society of America and Soil Science Society of America, 2005. p. 253–262. doi: <https://doi.org/10.2134/agronmonogr46.c8>



**Figura 1.** Efeito da inoculação isolada e combinada de bactérias fixadoras de N<sub>2</sub> e fungos micorrízicos arbusculares no crescimento da parte aérea **(A)** e raízes **(B)** de plantas de feijão-fava no início da floração (R6). -F e +F, sem e com inoculação de fungos, respectivamente. -B e +B, sem e com inoculação de bactérias, respectivamente. \* Significativo pelo Teste de F a  $p < 0,05$ . Valores médios de cinco repetições. Letras diferentes indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey a  $p < 0,05$ . CV, coeficiente de variação. Os retângulos cinzas destacam os tratamentos mais responsivos.