

A IMPORTÂNCIA DOS MICRORGANISMOS DIAZOTRÓFICOS NA NUTRIÇÃO E TOLERÂNCIA À SECA NO FEIJOEIRO (*PHASEOLUS VULGARIS* L)

Cristiano Lucas Soma¹
Antônio Wanga Muteka²
Antônia Andrade Manuel³
Elcimar Simão Martins⁴

RESUMO

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) constitui leguminosa de elevada importância nutricional e socioeconômica em regiões tropicais e subtropicais. Sua produtividade, no entanto, encontra-se frequentemente limitada pela escassez de nitrogênio nos solos e pela ocorrência de déficits hídricos, restrições que se intensificam diante das mudanças climáticas. Nesse cenário, os microrganismos diazotróficos simbiotes, endofíticos e de vida livre, revelam-se como alternativas biotecnológicas capazes de disponibilizar nitrogênio por fixação biológica e de induzir respostas de tolerância à seca. O objetivo deste trabalho consistiu em analisar a contribuição desses microrganismos para a nutrição nitrogenada e para a mitigação do estresse hídrico em feijoeiro, fundamentando-se em evidências experimentais recentes. Estudos demonstram que a inoculação com *Rhizobium tropici*, isolada ou em associação com *Azospirillum brasilense*, *Herbaspirillum seropedicae* ou *Paenibacillus polymyxa*, incrementa a nodulação, o conteúdo relativo de água foliar, a estabilidade de membrana, a atividade fotossintética e a capacidade de recuperação após restrição hídrica. Plantas submetidas à coinoculação exibem maior índice relativo de clorofila, redução no abortamento de vagens sob estresse moderado, maior acúmulo de biomassa e rendimento de grãos superior. Além da fixação biológica de nitrogênio, mecanismos como a síntese de ácido indolacético, a atividade da enzima ACC deaminase, a produção de exopolissacarídeos, a formação de biofilmes e o acúmulo de osmólitos compatíveis atuam na atenuação do estresse oxidativo e no incremento da eficiência de uso da água. A associação entre genótipos tolerantes e o emprego racional de bactérias diazotróficas configura estratégia promissora para sistemas produtivos de feijão mais resilientes, sustentáveis e menos dependentes de fertilizantes nitrogenados sintéticos.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*; fixação biológica de nitrogênio; *Rhizobium tropici* e estresse *Azospirillum brasilense*; estresse hídrico.

Universidade Federal do ABC, Pós-graduação em Biotecnologia, Instituto Centro de Ciências Naturais e Humanas, Discente, ,
Discente, c.soma@ufabc.edu.br¹
UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERCIONAL DA LUSOFONIA AFRO-BRASILEIRA, Instituto de Ciências da Saúde, Discente,
mutekaomoge@gmail.com²
UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERCIONAL DA LUSOFONIA AFRO-BRASILEIRA, INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA
NATUREZA, Discente, muzazango@gmail.com³
UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERCIONAL DA LUSOFONIA AFRO-BRASILEIRA, INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA
NATUREZA, Docente, elcimar@unilab.edu.br⁴



INTRODUÇÃO

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) figura entre as leguminosas de maior relevância para a segurança alimentar em países da América Latina, da África e de regiões da Ásia, fornecendo proteína de elevado valor biológico, fibras, vitaminas e minerais a custo acessível (Polania et al., 2016). No Brasil, a cultura é cultivada em praticamente todos os estados, sob regimes hídricos e níveis tecnológicos variados, integrando a dieta básica de grande parte da população. Não obstante sua importância, a produtividade média nacional permanece inferior ao potencial genético das cultivares disponíveis, restrição atribuída, em grande medida, à baixa fertilidade natural dos solos tropicais e à irregularidade das precipitações, fatores que tendem a se agravar com as mudanças climáticas (Steiner et al., 2020; Silva et al., 2025).

O nitrogênio constitui o nutriente demandado em maior quantidade pela cultura. Embora o feijoeiro estabeleça simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*, formando nódulos radiculares nos quais ocorre a fixação biológica de nitrogênio (FBN), a eficiência desse processo em *Phaseolus vulgaris* é considerada moderada a baixa quando confrontada com outras leguminosas, a exemplo da soja (Hungria et al., 2013; Polania et al., 2016). Tal limitação torna a cultura frequentemente dependente de adubações nitrogenadas, elevando os custos de produção e o risco de perdas por lixiviação e contaminação ambiental. Em paralelo, o estresse hídrico representa um dos principais fatores limitantes, interferindo na fotossíntese, na condutância estomática, na nodulação, na atividade da nitrogenase e no enchimento de grãos, especialmente quando se manifesta nas fases reprodutivas (Figueiredo et al., 2008; Steiner et al., 2020).

Diante desse panorama, os microrganismos diazotróficos, simbiotes, endofíticos e de vida livre (*Azospirillum*, *Herbaspirillum*, *Paenibacillus*, entre outros), têm sido intensamente investigados como alternativas sustentáveis. Além de disponibilizar nitrogênio assimilável, diversas dessas bactérias promovem o crescimento vegetal por múltiplos mecanismos: síntese de fitormônios (ácido indolacético, giberelinas e citocininas), solubilização de fosfato, produção da enzima ACC deaminase (que reduz os níveis de etileno), geração de exopolissacarídeos e formação de biofilmes que favorecem a retenção de água na rizosfera (Figueiredo et al., 2008; Melo et al., 2017; Steiner et al., 2020). A coinoculação de *Rhizobium* com outras bactérias promotoras de crescimento tem se revelado particularmente eficaz na mitigação dos efeitos da seca, conforme evidenciado em ensaios conduzidos tanto em casa de vegetação quanto em campo (Hungria et al., 2013; Filipini et al., 2021).

O presente resumo analisa a importância dos microrganismos diazotróficos para a nutrição nitrogenada e a tolerância à seca no feijoeiro, reunindo evidências científicas recentes, discutindo os principais mecanismos envolvidos e apontando perspectivas para o emprego desses organismos em sistemas de produção mais resilientes e ambientalmente equilibrados.

METODOLOGIA

Este trabalho configura-se como uma revisão narrativa de caráter qualitativo. A pesquisa bibliográfica foi realizada nas bases de dados Scopus, Web of Science, SciELO e Google Scholar, utilizando os descritores “*Phaseolus vulgaris*”, “diazotrophic”, “*Rhizobium*”, “*Azospirillum*”, “drought” e “water stress”, em combinações com operadores booleanos. Foram selecionados artigos experimentais e revisões publicados prioritariamente nos últimos quinze anos que abordassem a inoculação e a coinoculação de bactérias diazotróficas em feijoeiro sob condições de déficit hídrico (Steiner et al., 2020).

Foram priorizados estudos que avaliaram parâmetros fisiológicos (conteúdo relativo de água, estabilidade de membrana e trocas gasosas), parâmetros simbióticos (número e massa de nódulos) e parâmetros produtivos

(biomassa e rendimento de grãos). Os trabalhos selecionados contemplaram ensaios em casa de vegetação e em campo, envolvendo diferentes regimes hídricos e a utilização de estirpes de *Rhizobium tropici*, *Azospirillum brasilense*, *Herbaspirillum seropedicae* e *Paenibacillus polymyxa*, aplicadas isoladamente ou em combinação. A análise dos dados consistiu na identificação de padrões de resposta da planta à presença desses microrganismos, bem como na discussão dos principais mecanismos fisiológicos e bioquímicos envolvidos na promoção do crescimento e na tolerância à seca.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A coinoculação de *Rhizobium tropici* com *Azospirillum brasilense* tem revelado efeitos consistentes na atenuação do estresse hídrico em feijoeiro. Em ensaio conduzido sob três regimes de reposição de água (100 %, 50 % e 25 % da capacidade de vaso), plantas coinoculadas apresentaram superior estabilidade de membrana foliar e menor perda de água dos tecidos sob condições de seca. Sob estresse severo, a coinoculação proporcionou maior nodulação e índice relativo de clorofila. Tanto a inoculação isolada com *A. brasilense* quanto a coinoculação reduziram a taxa de abortamento de vagens sob estresse moderado e mantiveram o crescimento e a produção de grãos em patamares superiores aos observados em plantas não inoculadas (Steiner et al., 2020). Em condições de campo, Hungria et al. (2013) avaliaram a coinoculação de *R. tropici* com *A. brasilense* em nove experimentos e constataram aumento médio de 285 kg ha⁻¹ (19,6 %) no rendimento de grãos do feijoeiro quando a *Azospirillum* foi aplicada no sulco, em comparação com a inoculação exclusivamente com o rizóbio. Esse resultado evidencia o potencial da coinoculação mesmo sob condições de campo, nas quais múltiplos fatores ambientais interagem.

O efeito positivo é atribuído, em grande medida, à produção de fitormônios pela *Azospirillum*, que estimula o desenvolvimento radicular e favorece a nodulação promovida pelo rizóbio (Hungria et al., 2013; Filipini et al., 2021). Resultados análogos foram obtidos quando *Rhizobium* foi coinoculado com *Herbaspirillum seropedicae* na presença de substâncias semelhantes a ácidos húmicos. Após período de supressão hídrica na fase pré-floração, as plantas coinoculadas recuperaram-se de maneira mais célere, apresentando maior conteúdo relativo de água foliar, maior número e massa de nódulos e elevação da atividade da fenilalanina amônia-liase. A taxa fotossintética líquida e a condutância estomática também se restabeleceram com maior eficiência após a reidratação, indicando que a associação microbiana favorece a retomada do metabolismo energético e a proteção contra o estresse oxidativo (Melo et al., 2017). Outro exemplo relevante refere-se à coinoculação de *R. tropici* com *Paenibacillus polymyxa*. Figueiredo et al. (2008) demonstraram que essa combinação incrementou o crescimento, o conteúdo de nitrogênio e a nodulação do feijoeiro sob diferentes níveis de potencial mátrico do solo. A coinoculação mitigou parte dos efeitos negativos da seca, possivelmente por meio da modulação de níveis endógenos de citocininas e ácido abscísico, hormônios centrais na resposta ao déficit hídrico (Figueiredo et al., 2008).

A fixação biológica de nitrogênio (N) propriamente dita sofre forte influência do déficit hídrico. Estudos de campo que empregaram a técnica de abundância natural de N revelaram redução significativa na porcentagem de nitrogênio derivado da atmosfera sob condições de seca. Não obstante, existe variabilidade genética relevante: determinadas linhagens de feijão conjugam maior capacidade de FBN com superior rendimento de grãos mesmo sob restrição hídrica, indicando que a seleção de genótipos eficientes em simbiose pode potencializar os benefícios da inoculação (Polania et al., 2016). Linhagens como Adaptação Precoce ao Estresse 15 (SEA 15), Feijão Vermelho do CIAT 593 (RCB 593), Feijão Preto do CIAT 226 (NCB 226) e Feijão Vermelho Pequeno para Baixa Fertilidade do Solo 29 (BFS 29) destacaram-se nesse aspecto e

podem ser utilizadas como parentais em programas de melhoramento orientados à eficiência simbiótica sob estresse (Polania et al., 2016).

Os mecanismos pelos quais os diazotróficos conferem tolerância à seca transcendem a mera disponibilização de nitrogênio. A produção de ácido indolacético estimula o desenvolvimento radicular, ampliando a exploração do perfil do solo e a absorção de água e nutrientes; a enzima ACC deaminase reduz os níveis de etileno, hormônio associado à senescência e ao fechamento estomático excessivo, a síntese de exopolissacarídeos e a formação de biofilmes melhoram a retenção de água na rizosfera e protegem células bacterianas e raízes contra a dessecação. Adicionalmente, a indução de enzimas antioxidantes (superóxido dismutase, catalase e peroxidase) e o acúmulo de osmólitos compatíveis (prolina, trealose e açúcares) contribuem para a manutenção da homeostase celular sob condições de estresse oxidativo (Figueiredo et al., 2008; Melo et al., 2017; Steiner et al., 2020).

Observa-se, ainda, que cultivares de feijão naturalmente mais tolerantes à seca selecionam microbiomas rizosféricos enriquecidos em funções relacionadas à formação de biofilme, à sobrevivência em estado de dormência e à resistência ao estresse oxidativo (Silva et al., 2025). Essa interação planta-microbioma reforça a perspectiva de que a inoculação com estirpes selecionadas pode ser potencializada quando combinada com genótipos que apresentam afinidade ecológica com esses microrganismos, abrindo caminhos para o desenvolvimento de inoculantes personalizados por cultivar ou ambiente (Rodiño et al., 2023; Silva et al., 2025).

CONCLUSÕES

Os resultados analisados neste trabalho evidenciam que os microrganismos diazotróficos constituem uma ferramenta estratégica para melhorar a nutrição nitrogenada e a resiliência do feijoeiro frente ao déficit hídrico. A associação entre *Rhizobium* e outras bactérias promotoras de crescimento, especialmente *Azospirillum*, *Herbaspirillum* e *Paenibacillus*, favorece a nodulação, preserva o status hídrico da planta e permite melhor recuperação após períodos de seca, resultando em maior estabilidade produtiva. Mais do que apenas fornecer nitrogênio, esses microrganismos atuam de forma integrada sobre o sistema solo-planta, estimulando o desenvolvimento radicular, modulando hormônios e protegendo a planta contra danos oxidativos. Tais efeitos tornam a coinoculação uma prática promissora para reduzir a dependência de fertilizantes nitrogenados sintéticos e para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas.

Avanços futuros dependem da integração entre a seleção de genótipos de feijão mais eficientes em simbiose e a prospecção de estirpes bacterianas adaptadas a condições de estresse. Dessa forma, o uso racional de inoculantes microbianos pode contribuir significativamente para sistemas de produção de feijão mais sustentáveis, produtivos e ambientalmente responsáveis, alinhando-se às demandas atuais da agricultura contemporânea e aos objetivos de segurança alimentar.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de estudo ao primeiro autor, cujo apoio tem sido essencial para essa trajetória acadêmica e desenvolvimento de produções científicas, incluindo este resumo expandido.

REFERÊNCIAS

- FIGUEIREDO, M. V. B.; BURITY, H. A.; MARTÍNEZ, C. R.; CHANWAY, C. P. Alleviation of drought stress in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by co-inoculation with *Paenibacillus polymyxa* and *Rhizobium tropici*. **Applied Soil Ecology**, v. 40, n. 1, p. 182-188, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139308000802>. Acesso em: 20 ago. 2026.
- FILIPINI, L. D.; PILATTI, F. K.; MEYER, E.; SILVA, V. P.; SANTOS, O. S.; ANTONIOLLI, Z. I. Application of *Azospirillum* on seeds and leaves, associated with *Rhizobium* inoculation, increases growth and yield of common bean. **Archives of Microbiology**, v. 203, p. 1033-1038, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00203-020-02092-7>. Acesso em: 20 ago. 2026.
- HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: strategies to improve sustainability. **Biology and Fertility of Soils**, v. 49, p. 791-801, 2013. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-012-0771-5>. Acesso em: 20 ago. 2026.
- MELO, A. da P.; OLIVARES, F. L.; MÉDICI, L. O.; TORRES-NETO, A.; DOBBSS, L. B.; CANELLAS, L. P. Mixed rhizobia and *Herbaspirillum seropedicae* inoculations with humic acid-like substances improve water-stress recovery in common beans. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 4, p. 6, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s40538-017-0090-z>. Acesso em: 20 ago. 2026.
- POLANIA, J.; POSCHENRIEDER, C.; RAO, I.; BEEBE, S. Estimation of phenotypic variability in symbiotic nitrogen fixation ability of common bean under drought stress using ^{15}N natural abundance in grain. **European Journal of Agronomy**, v. 79, p. 66-73, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030116301125>. Acesso em: 20 ago. 2026.
- RODIÑO, A. P.; RON, A. M. de; SANTALLA, M.; GONZÁLEZ, A. M. Selected indigenous drought tolerant rhizobium strains as promising biostimulants for common bean in Northern Spain. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, 2023. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2023.1046397/full>. Acesso em: 20 ago. 2026.
- SILVA, A. V. R. da; CUNHA, I. de C. M.; PELLEGRINETTI, T. A.; BOLETA, E. H. M.; ZAGATTO, L. F. G.; ZAGATTO, S. dos S. S.; NISHISAKA, C. S.; MAFRA, T. M. L.; PATREZE, C. M.; CUSTER, G. F.; DINI-ANDREOTE, F.; MENDES, R.; TSAI, S. M.; MENDES, L. W. Functional adaptations of the rhizosphere microbiome for drought-tolerance promotion in common bean. **Plant Stress**, 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667064X25001253>. Acesso em: 20 ago. 2026.
- STEINER, F.; OLIVEIRA, C. E. da S.; ZOZ, T.; ZUFFO, A. M.; FREITAS, R. S. de. Co-Inoculation of Common

Bean with Rhizobium and Azospirillum Enhance the Drought Tolerance. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 67, p. 923-932, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1134/S1021443720050167>. Acesso em: 20 ago. 2026.