

Sete Lagoas, MG / Dezembro, 2024

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



Comportamento de estirpes de *Azospirillum* spp. em coinoculação com *Bradyrhizobium japonicum* efetuada por meio de bicos injetores sob pressão no sulco de plantio da cultura da soja

Evandro Chartuni Mantovani, Ivanildo Evódio Marriel e Antônio Carlos de Oliveira

Pesquisadores, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Embrapa Milho e Sorgo
Rodovia MG 424, KM 65
Caixa Postal 151
35701-098 Sete Lagoas, MG
www.embrapa.br/milho-e-sorgo
www.embrapa.br/fale-conosco/
sac

Comitê Local de Publicações

Presidente
Maria Marta Pastina
Secretário-executivo
Antônio Carlos de Oliveira
Membros
Cláudia Teixeira Guimarães,
Mônica Matoso Campanha,
Roberto dos Santos Trindade e
Maria Cristina Dias Paes

Edição executiva

Márcio Augusto Pereira do Nascimento

Revisão de texto

Antonio Claudio da Silva Barros

Normalização bibliográfica
Rosângela Lacerda de Castro
(CRB-6/2749)

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Márcio Augusto Pereira do Nascimento

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados à Embrapa.

Resumo – Nos últimos anos, a utilização da prática de coinoculação, inoculação mista com *Azospirillum brasilense* e *Bradyrhizobium japonicum*, tem apresentado crescimento contínuo e revelado ganhos na produtividade na cultura da soja. Entretanto, tais resultados referem-se ainda a limitado número de estirpes de *Azospirillum* disponíveis no mercado. Este trabalho teve como objetivo testar novas estirpes de *Azospirillum* spp. em mistura com *B. japonicum* visando definir melhor combinação dessas bactérias em aplicação mecânica no sulco de plantio da cultura da soja. O trabalho foi desenvolvido na Embrapa Milho e Sorgo, em uma área experimental, no município de Sete Lagoas, MG, em um Latossolo Vermelho Escuro, Álico de textura argilosa, nos anos agrícolas 2019/2020 e 2020/2021. Foram testados sete tratamentos: (A) inoculação com *B. japonicum* (R); (B) *Azospirillum* sp. CMS07 + R (CMS07+ R); (C) *Azospirillum* sp. CMS 11 + R (CMS11 + R); (D) *Azospirillum* sp. CMS18 + R (CMS18 + R); (E) *Azospirillum* spp. CMS1626 + R (CMS1626 + R); (F) *Azospirillum* spp. CMS1630. + R (CMS1630 + R); (G) *Azospirillum* sp. CMS2142 + R (CMS2142), sob dois níveis de nitrogênio (N) (8 kg ha⁻¹ N e 32 kg ha⁻¹ N), na forma de ureia. Utilizou-se o delineamento experimental de blocos casualizados com três repetições, em parcelas subdivididas, sendo N nas parcelas e inoculante nas subparcelas. Os inoculantes foram aplicados no sulco de plantio, na dosagem de 150 ml/ha⁻¹, utilizando-se um sistema de aplicação mecânica por bico injetor, instalado dentro do disco duplo desencontrado da semeadora-adubadora. Para produtividade de grãos, houve diferenças significativas (p<0,05) entre os tratamentos. Os valores observados na presença de coinoculação foram superiores ao observado na presença de *B. japonicum* isoladamente, com ganhos oscilando de 8,6% a 14,9%, dependendo da estirpe de *Azospirillum* spp. Com base nesses resultados, pode-se afirmar que a coinoculação com as bactérias eficientes constitui uma prática eficaz no aumento da produtividade da cultura de soja.

Termo para indexação: Inoculante, aplicação mecânica, semeadora-adubadora de soja, produtividade.

Behavior of *Azospirillum* spp. strains in co-inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* carried out by pressure injector nozzles in the soybean planting furrow

Abstract – In recent years, the use of coinoculation, mixed inoculation with *Azospirillum brasilense* and *Bradyrhizobium japonicum* have continuously growing and showed productivity gains in soybean cultivation. However, these results still refer to limited number of *Azospirillum* strains available on the market. This work aimed to testing new strains of *Azospirillum* spp. in mixture with *B. japonicum* aiming define the best combination of these bacteria in mechanical application in the planting furrow of the soybean culture. The work was developed at Embrapa Milho e Sorgo, in an experimental area, in the municipality of Sete Lagoas, State of Minas Gerais, Brazil, in a Dark Red, Alico Oxisol clayey in texture, in the agricultural years 2019/2020 and 2020/2021. The seven treatments tested were applied in the planting furrow: (A) inoculation with *B. japonicum* (R); (B) *Azospirillum* sp. CMS07 + R (CMS07 + R); (C) *Azospirillum* sp. CMS11 + R (CMS11 + R); (D) *Azospirillum* sp. CMS18 + R (CMS18+R); (E) *Azospirillum* sp. CMS1626 + R (CMS1626+R); (F) *Azospirillum* spp. CMS1630 + R (CMS1630 + R); (G) *Azospirillum* sp. CMS2142 + R (CMS2142), under two nitrogen (N) levels (8 kg ha⁻¹ N and 32 kg ha⁻¹ N), in the form of urea. A randomized block experimental design was used with three replications in subdivided plots, with N in the plots and inoculant in the subplots. The inoculants were applied to the planting furrow, at a dosage of 150 ml/ha⁻¹, using a mechanical application using a seeder-fertilizer injector nozzle. There were significant differences (p<0.05) between treatments for grain productivity, with the average values observed in the presence of coinoculation higher than that observed in the presence of *B. japonicum*, with gains between 8.6% and 14.9%, depending on the *Azospirillum* spp. strain. Based on these results, it can be stated that coinoculation with the bacteria tested is an effective practice in increasing the productivity of soybean crops.

Index terms: Inoculation, mechanical application, corn seeder-fertilizer, productivity.

Introdução

A cadeia de atividades vinculadas e decorrentes da produção agropecuária tornou-se um dos setores mais importantes da economia nacional. Entretanto, a dependência elevada do Brasil de fertilizantes importados, em particular de nitrogenados, aliada aos seus custos econômicos, energéticos e ambientais, torna os investimentos em inovações tecnológicas ecoeficientes altamente desejáveis.

Nesse contexto, o processo de fixação biológica de nitrogênio atmosférico (FBN), transformação do N₂ molecular em forma disponível às plantas, constitui uma tecnologia de base energética renovável e estratégica para reduzir custos para o produtor rural e substancial economia de divisas para o País. Assim, esse processo representa alternativa viável para mitigação de impactos ambientais atribuídos à agricultura, considerando-se que a intensidade de carbono de fertilizantes nitrogenados, em termos globais, oscila em torno de 10,48 tCO₂ equivalente para cada tonelada de N consumida na agricultura (Menegat et al., 2022), com contribuição direta para o alcance de compromissos assumidos pelo País, relacionados à meta de redução de emissão de gases de efeito estufa.

Considerando-se a produção de 151,4 milhões de toneladas de grãos de soja, safra 2022/2023 (Série Histórica das Safras, 2023), cultivada em sua quase totalidade utilizando-se estirpes selecionadas de *Bradyrhizobium japonicum* e reduzida adição de fertilizantes nitrogenados, a FBN fornece serviços ecossistêmicos com elevado valor econômico há longo tempo e contribui direta e indiretamente para a sustentabilidade do agronegócio brasileiro (Mendes et al., 2004; Hungria et al., 2015; Zilli et al., 2021; Telles et al., 2023).

No caso de gramíneas que apresentam menor eficiência nas interações bactéria/planta, esse processo biológico associativo envolvendo bactérias do gênero *Azospirillum* sp. (Döbereiner et al., 1976; Tarrand et al., 1978) contribui para a incorporação de N no sistema solo/planta via FBN (De-Polli et al., 1977; Garcia de Salomone et al., 1996; Urquiaga et al., 2012). Além disso, os benefícios da inoculação envolvem mecanismos múltiplos, tais como incremento na produção de fitormônios e outros compostos que influenciam o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, aumento da capacidade de absorção de água e de nutrientes, além de tolerância a estresses abióticos, dentre outros (Bashan; De-Bashan, 2010; Fallik et al., 1989; Fukami et al., 2018; Cassán et al., 2020). O uso de bactérias desse gênero com tais características resulta em ganhos de produtividade, constituindo-se

atualmente em uma tecnologia bem consolidada em agroecossistemas diversos (Döbereiner; Pedrosa, 1987; Okon; Labandera-Gonzalez, 1994; Baldani; Baldani, 2005; Hungria et al., 2022; Marques et al., 2023).

Nos últimos anos, após a distribuição no mercado de inoculantes à base de *Azospirillum brasilense* para o milho (Hungria et al., 2010), a utilização da prática de coinoculação de *Azospirillum brasilense* e *Bradyrhizobium japonicum* na cultura da soja tem apresentado crescimento contínuo, com efeitos sinérgicos e ganhos relevantes na produtividade dessa cultura (Molla et al., 2001; Hungria et al., 2015; Barbosa et al., 2021; Prando et al., 2024). Em adição, os efeitos promovidos pela coinoculação com tais bactérias podem ser influenciados por sinais específicos entre genótipos da bactéria e da planta hospedeira (Hungria et al., 2013), além da disponibilidade de nutrientes no solo. Portanto, a eficiência desse processo pode ser otimizada com o avanço do conhecimento sobre as interações bactéria/planta, envolvendo diferentes grupos de microrganismos.

Neste trabalho, procurou-se testar diferentes estirpes de *Azospirillum* spp. em mistura com *Rhizobium japonicum* visando definir melhor combinação dessas bactérias, utilizando-se distribuição mecânica de inoculantes líquidos no sulco de plantio da soja. Assim, destaca-se o mérito social, econômico e ambiental em conformidade com a missão da Embrapa e ao Objetivo do Desenvolvimento Sustentável (ODS), de número 12 "Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis" meta 12.a "Apoiar países em desenvolvimento a fortalecer suas capacidades científicas e tecnológicas para mudar para padrões mais sustentáveis de produção e consumo" considerando que abrange processo biológico como substituto/complemento do uso eficiente de fertilizante químicos nitrogenados e consequente mitigação de impactos ambientais negativo.

Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido nos anos agrícolas 2019/2020 e 2020/2021 em uma área experimental da Embrapa Milho e Sorgo, município de Sete Lagoas, MG, cuja latitude e longitude são, respectivamente, 19° 28' S e 44° 15' W. e cuja altitude é de 732 m. Foram testados os seguintes tratamentos: (A) *Rhizobium japonicum* (R); (B) *Azospirillum* spp. CMS07 + R (CMS07 + R); (C) *Azospirillum* spp. CMS 11 + R (CMS11 + R); (D) *Azospirillum* spp. CMS18 + R (CMS18 + R); (E) *Azospirillum* spp. CMS1626 + R (CMS1626 + R); (F) *Azospirillum*

spp. CMS1630. + R (CMS1630 + R); (vii) *Azospirillum* spp. CMS2142 + R (CMS2142), sob dois níveis de nitrogênio (8 kg ha⁻¹ N e 32 kg ha⁻¹ N), na forma de ureia, em um Latossolo Vermelho Escuro, Álico de textura argilosa, com baixa disponibilidade de N. Utilizou-se o delineamento experimental de blocos casualizados com três repetições, em parcelas subdivididas, sendo N nas parcelas e inoculante nas subparcelas, em dois anos agrícolas. Cada parcela foi constituída de oito linhas de 10 m de comprimento, espaçadas em 0,5 m entre linhas e 0,10 m entre plantas, para obtenção de um estande final de 240 mil plantas por hectare. Para a semeadura da cultivar de soja BRS Valiosa, com 90% de poder germinativo, utilizou-se uma semeadora-adubadora de parcelas, equipada com quatro linhas, com espaçamento entre linhas de 0,5 m e dosadores de sementes a disco pneumático, em sistema de plantio direto, a 5 cm de profundidade (Figura 1).



Figura 1. Semeio da soja com inoculação no sulco de plantio (A) e vista da área experimental (B).

Fotos: Evandro Mantovani, 2020.

A adubação de base foi realizada durante a semeadura mecânica à base de 400 kg ha⁻¹ da formulação 4-30-16 + 20 kg ha⁻¹ do fertilizante FTE BR12. Para a inoculação no sulco de plantio, na dosagem de 150 mL ha⁻¹, as misturas de estirpes de *Azospirillum* com *Bradyrhizobium* foram preparadas em laboratório. No campo, essas misturas foram diluídas em 5 L de água, colocadas no tanque acoplado ao trator, e distribuídas nos sulcos de plantio, durante a semeadura da soja. Para a aplicação mecânica dos inoculantes, utilizou-se um sistema de aplicação por bico injetor, instalado dentro do disco duplo desencontrado da semeadora-adubadora, modelo 50.05, jato reto, com pressão de 20 psi. Após a maturação fisiológica, os grãos foram colhidos e os dados de produtividade foram ajustados para 13,0% de umidade e submetidos à análise de variância. Para as comparações das médias dos tratamentos, foi utilizado o teste LSD a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

Os resultados da análise de variância para produtividade (Tabela 1) demonstraram efeitos significativos apenas para os fatores ano ($p < 0,01$)

(A) e inoculante ($p < 0,05$) (I) e não significativos para as interações, constatando, portanto, a independência da ação desses fatores. O efeito de ano sobre produtividade justifica-se, em parte, pelo fotoperiodismo sofrido pela cultura em razão de atraso na data de plantio na safra 2020/2021.

Tabela 1. Análise de variância para produtividade grãos de soja cultivada no Cerrado sob dois níveis de nitrogênio, nos anos agrícolas 2019/2020 e 2020/2021.

Fonte de variação	Quadrado médio	Valor p
Ano (A)	34519641.1	0.0001
Dose de nitrogênio (N)	40214.2	0.4247
Interação A x N	24480.2	0.5265
Inoculante (I)	418654.4	0.0190
Interação I x A	213472.6	0.2161
Interação I x N	145723.6	0.4434
Interação I x A x N	274987.7	0.1062

Tabela 2. Produtividade de grãos de soja (kg ha^{-1}) para diferentes misturas de estirpes de *Azospirillum* spp. e *B. japonicum*, nos anos agrícolas 2019/2020 e 2020/2021. Valores médios de dois níveis de N.

Inoculante	Ano agrícola		Média	Ganho %
	2019/2020	2020/2021		
<i>Azospirillum</i> CMS 07 + <i>Bradyrhizobium</i>	2.593,00	1.229,50	1.911,2 a	9,8
<i>Azospirillum</i> CMS 11 + <i>Bradyrhizobium</i>	2.614,50	1.182,40	1.898,4 a	9,1
<i>Azospirillum</i> CMS 18 + <i>Bradyrhizobium</i>	2.487,80	1.355,20	1.921,5 a	10,4
<i>Azospirillum</i> CMS 1626 + <i>Bradyrhizobium</i>	2.559,00	1.220,90	1.890,0 a	8,6
<i>Azospirillum</i> CMS1630 + <i>Bradyrhizobium</i>	2.515,90	1.284,60	1.900,2 a	9,2
<i>Azospirillum</i> CMS2142 + <i>Bradyrhizobium</i>	2.601,80	1.398,90	2.000,4 a	14,9
<i>Bradyrhizobium</i>	2.356,30	1.124,80	1.740,6 b	

Médias com mesmas letras não se diferem significativamente pelo teste LSD ao nível de 5% de probabilidade.

¹ Percentual de acréscimo de produtividade em relação ao tratamento com *Bradyrhizobium*.

As produtividades médias de grãos, ajustadas para 13% de umidade, estão apresentadas na (Tabela 2).

Observaram-se diferenças significativas entre os tratamentos, sendo superiores os valores observados na presença de coinoculação em relação aos da inoculação simples com *B. japonicum*. Embora as combinações de estirpes de *Azospirillum* spp. e *B. japonicum* não tenham diferido entre si, os ganhos de produtividade oscilaram entre 8,8% e 14,6% para as misturas *Azospirillum* CMS 11 + *B. japonicum* e *Azospirillum* CMS2142 + *B. japonicum*, respectivamente, em relação ao tratamento com *Bradyrhizobium*. Esses benefícios da coinoculação *Azospirillum* x *Bradyrhizobium* sobre produtividade de grãos de soja podem ser atribuídos a diferentes mecanismos nas interações planta/bactéria. Sabe-se que as bactérias do gênero *Azospirillum*, além da capacidade de fixar N_2 (Döbereiner et al., 1976; Tarrand et al., 1978), produzem diferentes metabólitos promotores de crescimento vegetal, como as

auxinas, dentre outros. Esses compostos constituem as principais classes de fitormônios que modulam o desenvolvimento e o crescimento vegetal, por meio de alterações da morfologia radicular (Döbereiner; Pedrosa, 1987; Duca et al., 2014; Fukami et al., 2018; Marques et al., 2021). No caso de leguminosas coinoculadas, essas características também resultam em incrementos impactantes em vários parâmetros radiculares, como número de ramificações laterais, comprimento e densidade de pelos absorventes. Consequentemente, elas implicam maior densidade de sítios de infecção, nodulação, eficiência da FBN e metabolismos de nitrogênio (Chibeba et al., 2015; Rondina et al., 2020; Barbosa et al., 2021; Prando et al., 2024). Além disso, alterações dessas características interferem sobre a capacidade de absorção de água e nutrientes pelas plantas, que constituem os principais fatores de produtividade, que são dependentes de sinais específicos nas interações genótipos planta/bactéria (Hungria et al., 2013).

Conclusões

A prática de coinoculação de *Azospirillum* spp. e *Bradyrhizobium japonicum* resultou em ganhos significativos da produtividade de grãos de soja, em relação à inoculação isolada com *B. japonicum*.

Os ganhos de produtividade de soja na presença da coinoculação de *Azospirillum* spp. e *B. japonicum* oscilaram de 8,6% a 14,9%, em função de estirpe de *Azospirillum* spp., em relação à inoculação com *B. japonicum*.

Os resultados não demonstraram variabilidade interespecífica significativa entre as estirpes de *Azospirillum* spp. coinoculadas com *B. japonicum*, em relação à produtividade de soja.

Agradecimentos

À Embrapa Milho e Sorgo pela infraestrutura e pessoal de apoio na condução e avaliação dos dados de campo.

Referências

BALDANI, J. I.; BALDANI, V. L. D. History on the biological nitrogen fixation research in graminaceous plants: special emphasis on the Brazilian experience. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 77, n. 3, p. 549-579, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0001-37652005000300014>.

BARBOSA, J. Z.; HUNGRIA, M.; SENA, J. V. S.; POGGERE, G.; REIS, A. R.; CORREA, R. S. Meta-analysis reveals benefits of co-inoculation of soybean with *Azospirillum brasilense* and *Bradyrhizobium* spp. in Brazil. **Applied Soil Ecology**, v. 163, 103913, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103913>.

BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L. E. How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth: a critical assessment. In: SPARKS, D. L. (ed.). **Advances in Agronomy**. London: Academic Press, 2010. v. 108, p. 77-136. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)08002-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)08002-8).

CASSÁN, F.; CONIGLIO, A.; LÓPEZ, G.; MOLINA, R.; NIEVAS, S.; DE CAROLAN, C. L. N.; DONADIO, F.; TORRES, D.; ROSAS, S.; PEDROSA, F. D. O.; SOUZA, E. D.; ZORITA, M. D.; DE-BASHAN, L.; MORA, V. Everything you must know about *Azospirillum* and its impact on agriculture and beyond. **Biology and Fertility of Soils**, v. 56, p. 461-479, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-020-01463-y>.

CHIBEBA, A. M.; GUIMARÃES, M. F.; BRITO, O. R.; ARAÚJO, R. S.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Co-inoculation of soybean with *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* promotes early nodulation. **American Journal of Plant Science**, v. 6, n. 10, p. 1641-1649, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2015.610164>.

DE-POLLI, H.; MATSUI, E.; DÖBEREINER, J.; SALATI, E. Confirmation of nitrogen fixation in 2 tropical grasses by (N-15)² incorporation. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 9, n. 2, p. 119-123, 1977. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(77\)90047-5](https://doi.org/10.1016/0038-0717(77)90047-5).

DÖBEREINER, J.; MARRIEL, I.; NERY, M. Ecological distribution of *Spirillum lipoferum* Beijerinck. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 22, n. 10, p. 1464-1473, 1976. DOI: <https://doi.org/10.1139/m76-217>.

DÖBEREINER, J.; PEDROSA, F. O. **Nitrogen-fixing bacteria in non-leguminous crop plants**. Madison: Springer Verlag, 1987.

DUCA, D.; LORV, J.; PATTEN, C. L.; ROSE, D.; GLICK, B. R. Indole-3-acetic acid in plant-microbe interactions. **Antonie Van Leeuwenhoek**, v. 106, n. 1, p. 85-125, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10482-013-0095-y>.

FALLIK, E.; OKON, Y.; EPSTEIN, E.; GOLDMAN, A.; FISCHER, M. Identification and quantification of IAA and IBA in *Azospirillum brasilense* inoculated maize roots. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 21, n. 1, p. 147-153, 1989. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(89\)90024-2](https://doi.org/10.1016/0038-0717(89)90024-2).

FUKAMI, J.; CEREZIN, P.; HUNGRIA, M. *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. **AMB Express**, v. 8, article 73, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13568-018-0608-1>.

GARCIA DE SALOMONE, I. G.; DÖBEREINER, J.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Biological nitrogen fixation in *Azospirillum* strain-maize genotype associations as evaluated by the 15N isotope dilution technique. **Biology Fertility and Soils**, v. 23, p. 249-256, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00335952>.

HUNGRIA, M.; BARBOSA, J. Z.; RONDINA, A. B. L.; NOGUEIRA, M. A. Improving maize sustainability with partial replacement of N fertilizers by inoculation with *Azospirillum brasilense*. **Agronomy Journal**, v. 114, n. 5, p. 2969-2980, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/agj2.21150>.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; SOUZA, E. M.; PEDROSA, F. O. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum*

improves yields of maize and wheat in Brazil.

Plant and Soil, v. 331, p. 413-425, 2010.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0262-0>.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAÚJO, R. S.

Soybean seed co-inoculation with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense*: a new biotechnological tool to improve yield and sustainability. **American Journal of Plant Sciences**, v. 6, n. 6, p. 811-817, 2015.

DOI: <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2015.66087>.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAÚJO, 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.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0771-5>.

MARQUES, D. M.; MAGALHÃES, P. C.; MARRIEL, I.

E.; GOMES JÚNIOR, C. C.; SILVA, N. T. A.; SOUZA,

T. C. *Azospirillum brasilense* reduces the effects of water stress and increases maize yield in irrigated areas with high soil nitrogen. **Journal of Plant**

Growth Regulation, v. 42, p. 4263-4274, 2023.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-022-10889-7>.

MARQUES, D. M.; MAGALHÃES, P. C.; MARRIEL, I. E.;

GOMES JÚNIOR, C. C.; SILVA, A. B. da; SOUZA, T. C.

Gas exchange, root morphology and nutrients in maize plants inoculated with *Azospirillum brasilense* cultivated under two water conditions. **Brazilian Archives of**

Biology and Technology, v. 64, e21190580, 2021.

DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2021190580>.

MENDES, I. C.; HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A.

T. Establishment of *Bradyrhizobium japonicum* and *B. elkanii* strains in a Brazilian cerrado oxisol.

Biology and Fertility of Soils, v. 40, p. 28-35, 2004.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-004-0739-1>.

MENEGAT, S.; LEDO, A.; TIRADO, R. Greenhouse

gas emissions from global production and use of nitrogen synthetic fertilisers in agriculture.

Scientific Reports, v. 12, article 14490, 2022.

DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18773-w>.

MOLLA, A. H.; SHAMSUDDIN, Z. H.; SAUD, H.

M. Mechanism of root growth and promotion of nodulation in vegetable soybean by *Azospirillum*

brasilense. **Communications in Soil Science and**

Plant Analysis, v. 32, n. 13/14, p. 2177-2187, 2001

DOI: <https://doi.org/10.1081/CSS-120000276>.

OKON, Y.; LABANDERA-GONZALEZ, C. A. Agronomic

applications of *Azospirillum*: evaluation of 20 years

worldwide field inoculation. **Soil Biology and**

Biochemistry, v. 26, n. 12, p. 1591-1601, 1994.

PRANDO, A. M.; BARBOSA, J. Z.; OLIVEIRA,

A. B. D.; NOGUEIRA, M. A.; POSSAMAI, E. J.;

HUNGRIA, M. Benefits of soybean co-inoculation with *Bradyrhizobium* spp. And *Azospirillum brasilense*:

large-scale validation with farmers in Brazil. **European Journal of Agronomy**, v. 155, 127112, 2024.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127112>.

RONDINA, A. B. L.; SANZOVO, A. W. S.; GUIMARÃES,

G. S.; WENDLING, J. R.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA,

M. Changes in root morphological traits in soybean co-inoculated with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum*

brasilense or treated with *A. brasilense* exudates. **Biology and Fertility of Soils**, v. 56, p. 537-549, 2020.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-020-01453-0>.

SÉRIE HISTÓRICA DAS SAFRAS. **Soja**. Brasília, DF:

Conab, 2023. Disponível em: [https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/itemlist/](https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/itemlist/category/911-soja)

[category/911-soja](https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/itemlist/category/911-soja). Acesso em: 7 jan. 2014.

TARRANT, J. J.; KRIEG, N. R.; DÖBEREINER, J.

A taxonomic study of the *Spirillum lipoferum* group, with

descriptions of a new genus, *Azospirillum* gen. nov. and

two species, *Azospirillum lipoferum* (Beijerinck) comb.

nov. and *Azospirillum brasilense* sp. nov. **Canadian**

Journal of Microbiology, v. 24, n. 8, p. 967-968, 1978.

DOI: <https://doi.org/10.1139/m78-160>.

TELLES, T. S.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA,

M. Economic value of biological nitrogen fixation

in soybean crops in Brazil. **Environmental**

Technology and Innovation, v. 31, 103158, 2023.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103158>.

URQUIAGA, S.; XAVIER, R.; MORAIS, R. F.; BATISTA,

R.; SCHULTZ, N.; LEITE, J. M.; RESENDE, A.;

ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Evidence from field

nitrogen balance and 15N natural abundance data of

the contribution of biological N₂ fixation to Brazilian

sugarcane varieties. **Plant and Soil**, v. 356, p. 5-21,

2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-011-1016-3>.

ZILLI, J. E.; PACHECO, R. S.; GIANLUPPI, V.;

SMIDERLE, O. J.; URQUIAGA, S.; HUNGRIA, M.

Biological N₂ fixation and yield performance of soybean

inoculated with *Bradyrhizobium*. **Nutrient Cycling**

in Agroecosystems, v. 119, p. 323-336, 2021.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s10705-021-10128-7>.

