

Inoculação antecipada e adubação nitrogenada na cultura da soja

Early inoculation and nitrogen fertilization in soy crop

LAIANE PEREIRA DE OLIVEIRA

Discente de Agronomia (UNIPAM)
E-mail: laianejp18@hotmail.com

VANESSA JÚNIA MACHADO

Professora orientadora (UNIPAM)
E-mail: vanessajm@unipam.edu.br

Resumo: A soja (*Glycine max*) é uma cultura com alta demanda de nitrogênio para seu desenvolvimento fisiológico e produtivo. As principais fontes de nitrogênio disponíveis para a cultura são fornecidas por adubos nitrogenados e pelo processo de fixação biológica de nitrogênio que ocorre através de simbiose entre as raízes e as bactérias fixadoras, as quais, embora presentes no solo, podem ser fornecidas por meio do processo de inoculação. Objetivou-se avaliar a nodulação e o acúmulo de matéria seca da cultura da soja no início do ciclo em função da inoculação antecipada e adubação nitrogenada. O experimento foi realizado em Patos de Minas, MG, com a cultivar NEO 720 I2X. Empregou-se o delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 5x4 com cinco épocas de inoculação (60, 45, 30, 15 e 0 dias antes da semeadura) e quatro formas de fornecimento de nitrogênio (inoculante longa vida A, inoculante longa vida B, inoculante comum e nitrato de Amônio). Foram avaliados o número médio de nódulos por planta, massa seca de nódulos e massa seca de raiz. Observou-se que, embora os inoculantes longa vida sejam uma tecnologia viável, o inoculante comum se destacou a longo prazo em relação às variáveis avaliadas.

Palavras-chave: fixação biológica de nitrogênio. *Glycine max* (L.). Inoculante. Longa vida.

Abstract: Soybean (*Glycine max*) is a crop with high nitrogen demand for its physiological and productive development. The principal sources of nitrogen available for the crop are provided by nitrogen fertilizers and the process of biological nitrogen fixation that occurs through a symbiosis between the roots and the fixing bacteria, which, although present in the soil, can be supplied through the inoculation process. This study aimed to evaluate nodulation and dry matter accumulation of soybean cultivars at the beginning of the cycle as a response to early inoculation and nitrogen fertilization. The experiment was performed in Patos de Minas, MG, with the cultivar NEO 720 I2X. A randomized block design was used in a 5x4 factorial scheme with five inoculation periods (60, 45, 30, 15, and 0 days before sowing) and four forms of nitrogen supply (long life inoculant A, long life inoculant B, common inoculant, and Ammonium nitrate). The average number of nodules per plant, nodule dry mass, and root dry mass were evaluated. It was observed that although the long-life inoculants are a viable technology, the common inoculant stood out in the long term concerning the variables evaluated.

Keywords: Biological nitrogen fixation. *Glycine max* (L.). Inoculant. Long life.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de soja, com uma produção de 135,409 milhões de toneladas, em 38,502 milhões de hectares de área plantada (EMBRAPA SOJA, 2021). O grão representa para o país grande importância econômica, dada sua alta versatilidade que permite estar presente na alimentação humana, alimentação animal e produção de biocombustíveis.

O nitrogênio (N) é o macronutriente mais requerido pela soja, com extração de cerca de 80 kg de N para cada tonelada de grãos produzidos (EMBRAPA s.d.a). Segundo Gitti (2016), todo o N necessário para boas produtividades de soja pode ser fornecido via fixação biológica de nitrogênio (FBN), que ocorre pela simbiose entre planta e bactérias fixadoras. Nas plantas, o N é o componente responsável por várias reações, além de fazer parte da estrutura da clorofila, de enzimas e de proteínas. Por ser o elemento essencial, seu balanço afeta a formação de raízes, a fotossíntese, a produção e translocação de fotoassimilados e a taxa de crescimento entre folhas e raízes, sendo o crescimento foliar primeiramente afetado. A consequência disso é a diminuição do crescimento das plantas e da produtividade (TAIZ; ZIEGER, 2004).

Originalmente, as bactérias fixadoras de N podem ser encontradas no solo, mas nem sempre em quantidades suficientes para suprir todas as exigências de N que a planta de soja demanda, sendo necessário reforçar a população destas por meio da inoculação. O processo de FBN consiste em um processo simbiótico entre a planta de soja e bactérias fixadoras de N, em que o N atmosférico é convertido em formas assimiláveis pela planta e prontamente disponíveis (EMBRAPA, s.d.b).

A inoculação da soja é capaz de proporcionar ganhos médios de produtividade de até 8% em comparação a soja não inoculada (PRANDO, 2020). Diante disso, fica evidente a importância de inoculação da soja para a obtenção de boas produtividades, sendo esse um processo essencial para a sustentabilidade do cultivo. Para que a FBN seja eficiente, é preciso garantir que as bactérias inoculadas tenham condições de sobreviver e estabelecer a simbiose com a soja. Isso é necessário para que haja uma nodulação precoce e abundante, em que o sucesso da inoculação pode ser verificado pela presença dos primeiros nódulos na raiz principal entre cinco e oito dias após a emergência; no estágio V1-V2, cerca de quatro a oito nódulos/planta com 1 a 2 mm. (NOGUEIRA, 2014). Quando o processo de inoculação se apresenta bem-sucedido, é observada internamente no nódulo a coloração em tons roseados constituída principalmente pela presença de leg-hemoglobina, uma hemoproteína fixadora de N (Figura 1).

As plantas de soja alcançam o auge da nodulação no estágio R2, onde ocorre o pleno florescimento. Após, é observado que há um decréscimo na concentração de nitrogênio na fração vegetativa da planta, para constituição de sementes e vagens (FAGAN, 2007).

A necessidade de otimizar cada vez mais o tempo da janela de semeadura mostra que a utilização de inoculantes longa vida se faz interessante, pois possibilitam a inoculação antecipada à semeadura, garantindo o prolongamento da vida útil das bactérias (SCHWEIG; LOURENÇO; MENEGASSO, 2017). O inoculante de longa vida possui Tecnologia Osmo Protetora (TOP), que promove um alto rendimento metabólico

e fisiológico das bactérias e resulta em alta concentração bacteriana. Diante disso, objetivou-se avaliar a nodulação e acúmulo de matéria seca da cultura da soja no início de ciclo, em função da inoculação antecipada e adubação nitrogenada.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi desenvolvido na Estação Experimental da empresa Nativa Agronegócios e Representações, no município de Patos de Minas, MG. O local apresenta clima tropical de altitude (Cwa), com precipitação média anual em torno de 1400 mm, sendo a temperatura média anual igual a 21,1 °C e a máxima anual, 27,8 °C. O solo utilizado foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo de textura muito argilosa, cujos atributos químicos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Análise química de solo - Experimento Inoculação Antecipada, Patos de Minas/MG 2021

pH (CaCl ₂)	P-rem (mg L ⁻¹)	P _{res}	K ⁺	S	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³	B	Cu	Fe	Mn	Zn	V	M.O.
4,4	5,1	4	39,1	3	0,2	0,1	0,3	0,1	0,3	4	1,6	0,6	10	8

Extratores: P, K= (HCL 0,05 mol L⁻¹ + H2SO4 0,0125 mol L⁻¹); S-SO4= (Fosfato Monobásico cálcio 0,01 mol L⁻¹); Ca, Mg, Al = (KCl 1 mol L⁻¹); M.O. = Método calorimétrico; Cu, Fe, Mn, Zn = DTPA pH 7,3B = água quente.

Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 5x4 com quatro repetições, sendo cinco épocas de inoculação (60, 45, 30, 15 e 0 - DANS) e quatro formas de fornecimento de N (Tabela 2). Cada unidade experimental correspondeu a um vaso, com volume de 15 dm³, com quatro plantas.

Tabela 2: Formas de fornecimento de nitrogênio testadas, Experimento Inoculação Antecipada, Patos de Minas/MG 2022

Fornecimento de N*	Bactéria	DOSE (mL kg de sementes ⁻¹)
Inoculante Vida Longa A	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	3,0
Inoculante Vida Longa B	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	8,0
Inoculante Comum	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	3,0
Nitrato de Amônio	--	3,0

* O fornecimento de N via nitrato de amônio visou atender protocolo oficial do MAPA que exige comparar a inoculação com a adubação recomendada para a cultura caso as sementes não sejam inoculadas. (MAPA, s.d.).

Em cada tratamento, foram tratados 500 g de semente da cultivar NEO 720 I2X. Para isso, foram aplicados inicialmente fungicida (Maxim Advanced) e inseticida (Fortenza 600 FS). Logo após, nos tratamentos com inoculação, foram feitas a aplicação e a homogeneização dos respectivos inoculantes líquidos nas sementes em laboratório, com total cuidado para não danificá-las e distribuir uniformemente os produtos. Após

secagem das sementes, estas foram colocadas em recipientes próprios e armazenadas em sala bem arejada, com umidade relativa e ventilação controlada até o dia da semeadura.

Realizou-se a correção do solo 60 dias antes da semeadura, com aplicação, em cada vaso, de 11,7g de GEOX, 0,75g de cloreto de potássio e 0,75g de fertilizante composto por B, Mn e Zn. Na adubação de semeadura, foram aplicados 8,3g de superfosfato simples por vaso.

Os vasos foram irrigados diariamente para conservação da umidade do solo próxima à capacidade de campo. Nos tratamentos com fornecimento de N via nitrato de amônio, este foi aplicado semanalmente dissolvido em água na dose de 0,56g por vaso. No estágio R2, o experimento foi desmontado para as avaliações.

Para tal, as plantas foram retiradas dos vasos e lavadas em água corrente até que não restassem mais resíduos nas raízes (Figura 2). Em seguida, foi feito o corte na região do colo das plantas para retirada do sistema radicular. Logo após, separaram-se os nódulos, que foram contados e acondicionados em sacos de papel devidamente identificados. Posteriormente, os nódulos e o restante do sistema radicular foram secos separadamente em estufa com circulação forçada de ar a 70 °C por 72 h para determinação da massa seca de nódulos e raízes. A pesagem foi realizada em balança de precisão de 0,0001 g (Figura 2).

Figura 1: Raízes de soja retiradas dos vasos, balança de precisão e sacos de papel identificados



Fonte: Experimento Inoculação Antecipada, Patos de Minas/MG, 2022.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Para as épocas de inoculação, foram ajustados modelos de regressão, e as formas de fornecimento de N foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, com o auxílio do Software SPEED Stat. Quando necessário, os dados foram transformados para atender às pressuposições da ANOVA.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação entres os fatores, apenas para o número médio de nódulos por planta (Tabela 3). Para as demais variáveis, houve diferença apenas para a forma de fornecimento de N.

Tabela 3: Resumo da análise de variância (ANOVA) com o valor do teste F e coeficiente de variação (CV) para as variáveis número médio de nódulos por planta, massa seca média de nódulos por planta e massa seca média de raízes por planta em função dos fatores épocas de inoculação e formas de fornecimento de N. Experimento Inoculação Antecipada na cultura da soja, Patos de Minas, MG, 2022

Fonte de variação	Nódulos por planta	Massa seca de nódulos	Massa seca de raízes
Época de inoculação	0,55 ^{ns}	0,78 ^{ns}	1,31 ^{ns}
Fornecimento de N	3,11*	18,86**	14,56*
Interação	2,00*	0,56 ^{ns}	1,29 ^{ns}
CV (%)	29,5	32,9	13,9

*: significativo pelo teste F a 5% de probabilidade. ^{ns}: não significativo.

3.1 NÚMERO MÉDIO DE NÓDULOS POR PLANTA

Desdobrando-se a interação das formas de fornecimento de N dentro de cada época, aos 60 DANS, o tratamento Inoculante Comum sobressaiu-se, apresentando maior número de nódulos (Tabela 4). O tratamento Inoculante Longa Vida A demonstrou maior nodulação quando avaliado à época de 15 DANS, e o tratamento Inoculante Longa Vida B apresentou melhor resultado quanto aos outros tratamentos, sendo realizada a inoculação no dia do plantio, evidenciando resposta positiva à inoculação e à época.

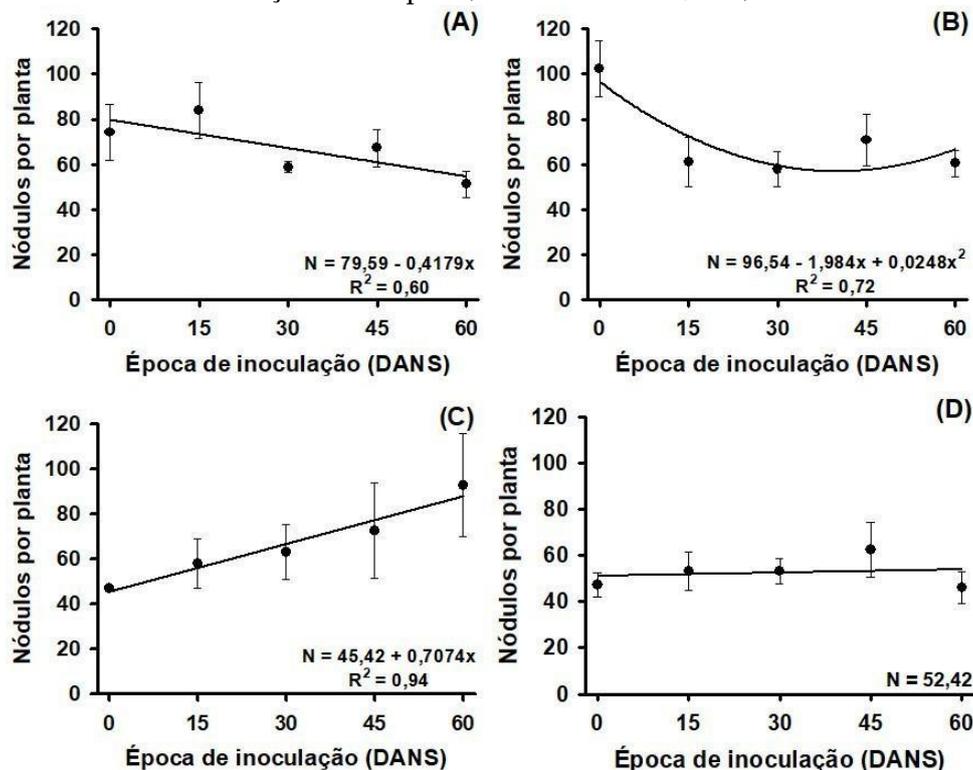
Tabela 4: Número médio de Nódulos por planta, Experimento Inoculação Antecipada na cultura da soja, Patos de Minas/MG, 2022

ÉPOCA	Inoculante Longa Vida A	Inoculante Longa Vida B	Inoculante Comum	Nitrato de Amônio
60	51,19 AB	60,44 AB	92,73 A	46,10 B
45	67,25 A	70,69 A	75,52 A	62,38 A
30	58,80 A	57,94 A	63,06 A	53,25 A
15	83,82 A	61,05 A	57,94 A	53,19 A
0	74,25 AB	102,43 A	46,97 B	47,19 B
Média	67,06 AB	70,51 A	66,64 AB	52,42 B

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Conforme os modelos ajustados, para os inoculantes longa vida ocorre redução do número de nódulos à medida que se aumenta o número de dias entre a inoculação e a semeadura (Figura 3). Nota-se ainda que a redução pode apresentar valores próximos aos observados na forma de fornecimento nitrato de amônio; não foi possível o ajuste de modelo de regressão, com média de 52,4 nódulos por planta.

Figura 2: Análise de Regressão, Número médio de nódulos por planta – Experimento Inoculação Antecipada, Patos de Minas/MG, 2022



(A) Inoculante longa vida A - regressão linear, (B) Inoculante longa vida B – regressão quadrática, (C) Inoculante comum – regressão linear, (D) Nitrato – regressão linear.

Pavanelli e Araújo (2009) citam que a nodulação é o parâmetro mais confiável para avaliar a resposta à inoculação. Portanto, é recomendado que a prática de inoculação nas sementes seja realizada após o tratamento e no mesmo dia da semeadura (FIPKE, 2015).

3.2 MASSA SECA DE NÓDULOS

Para massa seca de nódulos (Tabela 5), foram verificados resultados significativos entre os tratamentos, mesmo não havendo interação quanto à época de inoculação. Porém, os tratamentos com Inoculante Longa Vida A apresentaram maiores médias quando consideradas as épocas de 0 e 15 DANs. Quando avaliado o período de 30 DANs, o tratamento Inoculante comum sobressaiu-se aos demais, apresentando peso de massa seca de nódulos de 0,25g. Avaliando a época de 45 DANs, observou-se que os tratamentos Inoculante Longa Vida A e Inoculante comum se destacaram, apresentando o mesmo resultado. Considerando a média dos tratamentos, todos, com exceção do nitrato, apresentaram médias consideráveis em todas épocas de inoculação. Essa avaliação corrobora o verificado por Hungria *et al.* (2006), os quais verificaram que a adubação nitrogenada inibiu a massa seca dos nódulos na cultura da soja.

Tabela 5: Peso de massa seca de nódulos, Experimento Inoculação Antecipada na cultura da soja, Patos de Minas/MG, 2022

ÉPOCA	Inoculante Longa Vida A	Inoculante Longa Vida B	Inoculante comum	Nitrato de Amônio
60	0,18 A	0,22 A	0,20 A	0,09 B
45	0,26 A	0,22 AB	0,26 A	0,11 A
30	0,23 AB	0,22 AB	0,25 A	0,10 A
15	0,26 A	0,24 A	0,19 AB	0,11 A
0	0,28 A	0,20 AB	0,20 AB	0,07 B
Média	0,24 A	0,22 A	0,24 A	0,09 B

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Segundo Câmara (2000), plantas com equivalentes de 0,10 a 0,20 g de nódulos secos por planta no florescimento apresentam condições suficientes para a obtenção de altos teores de nitrogênio fixado e, conseqüentemente, alto rendimento de grãos.

A massa de nódulos seca, sempre que possível, deve ser determinada, pois proporciona melhor correlação com eficiência de nodulação e produtividade de grãos (CÂMARA, 2000).

3.3 MASSA SECA DE RAÍZES

Na avaliação de massa seca de raízes (Tabela 6), foram verificados resultados significativos entre os tratamentos. Porém, quando analisados os inoculantes, o tratamento com Inoculante Comum apresentou número mais significativos nas épocas de 60 e 45 DANS, mesmas épocas em que apresentou maiores resultados em números e peso seco de nódulos, sendo assim possível associar as variáveis apresentadas. O tratamento Inoculante Longa Vida A teve peso mais expressivo em 0 DANS. O tratamento Nitrato de amônio, por sua vez, sobressaiu-se, demonstrando maiores números de massa seca de raízes em todas as épocas.

Tabela 6: Peso de massa seca das raízes, Experimento Inoculação Antecipada na cultura da soja, Patos de Minas/MG, 2022

ÉPOCA	Inoculante Longa Vida A	Inoculante Longa Vida B	Inoculante comum	Nitrato de Amônio
60	1,86 A	1,98A	2,16 A	2,38 A
45	1,99 B	1,75 B	2,12 B	2,71 A
30	1,78 B	1,91 A	1,95 A	2,43 A
15	1,54 B	1,94 A	1,86 A	2,35 A
0	2,16 B	2,07 B	1,84 B	2,28 A
Média	1,87 B	1,93 B	1,99 B	2,43 A

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A avaliação corrobora o avaliado por Saito *et al.* (2014), os quais descrevem que, na ausência de nitrato na planta, a maior parte dos fotoassimilados é translocada para os nódulos; em seguida, para as raízes primárias e, em menor proporção, para as raízes secundárias; todavia, na presença de nitrato, há uma mudança no padrão de

translocação dos fotoassimilados, sendo que as raízes secundárias se tornam o principal dreno, e os nódulos, por sua vez, recebem a menor quantidade dos fotoassimilados.

4 CONCLUSÃO

Diante do exposto, conclui-se que, embora os inoculantes longa vida sejam uma tecnologia viável, o inoculante comum se destacou a longo prazo em relação às variáveis avaliadas.

REFERÊNCIAS

ALAN, M. Z.; STEINER, F. B.; AÉCIO, S.; DIEGO M. da S. A adubação nitrogenada na soja inibe a nodulação e não melhora o crescimento inicial das plantas. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 12, n. 2, p. 333-349, 2019.

BERTOLO, F. de O. A. *et al.* A Fixação biológica de nitrogênio e os inoculantes. **Comunicado Técnico**, 7., Porto Alegre, p. 19, 2021.

BRANDELERO, E. M.; CLÓVIS, P. P.; RALISCH, R. Nodulação de cultivares de soja e seus efeitos no rendimento de grãos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 3, p. 581-587, 2009.

CÂMARA, G. M. S. Nitrogênio e produtividade da soja. *In*: CÂMARA, G. M. S. (eds.) **Soja: Tecnologia da Produção II**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2000.

EMBRAPA SOJA. **Soja em números (safra 2020/21)**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>.

EMBRAPA. **Fixação biológica de nitrogênio em soja**. s.d.a. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/3780/fixacao-biologica-de-nitrogenio-em-soja>.

EMBRAPA. **Fixação biológica de nitrogênio**. s.d.b. <https://www.embrapa.br/tema-fixacao-biologica-de-nitrogenio/perguntas-e-respostas>.

FAGAN, E. B. *et al.* Fisiologia da fixação do nitrogênio em soja: uma revisão. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 89-106, 2007.

FERREIRA, D. F. **SISVAR**: um programa para análises e ensino de estatística, Lavras, v. 6, n. 2, p. 36-41, 2008.

FIPKE, G. M. **Co-inoculação e pré-inoculação de sementes em soja**. 2015. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Santa Maria, p.67, 2015.

GITTI, D. E. **Inoculação e coinoculação na cultura da soja**. Fundação MS, 2016.

HUNGRIA, M.; CAMPOS, R. J.; MENDES, I. C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja**: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. Londrina: Embrapa Soja, n. 283, 2007.

HUNGRIA, M.; RUBENS, J. C.; IÊDA, C. M. **Fixação biológica na cultura da soja**. Londrina: Circular Técnica /Embrapa Soja, n. 35, p. 48, 2001.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C.; GRAHAM, P. H. Contribution of biological nitrogen fixation to the N nutrition of grain crops in the tropics: the success of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) in South America. *In*: SINGH, R. P.; SHANKAR, N.; JAIWAL, P. K. (Ed.). **Nitrogen nutrition and sustainable plant productivity**. Houston: Studium, 2006. p. 43-93.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Protocolo oficial para avaliação da viabilidade e eficiência agronômica de cepas, inoculantes e tecnologias relacionados ao processo de fixação biológica do nitrogênio em leguminosas**. Disponível em: <file:///D:/Meus%20Documentos%20-%20Fepam/Downloads/protocolo-oficial-para-avaliacao-da-viabilidade-e.pdf>.

NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Boas Práticas de Inoculação em Soja. *In*: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 40., 2014, Londrina. **Atas e Resumos**, Londrina, 2014.

PAVANELLI, L. E.; ARAÚJO, F. F. de. Fixação biológica de nitrogênio em soja em solos cultivados com pastagens e culturas anuais do oeste Paulista. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 25, n. 1, p. 21-29, jan./fev. 2009.

PEREIRA, C. S. *et al.* Produtividade com sementes pré-inoculadas de soja em períodos antes da semeadura. **Scientific Electronic Archives, Sci. Elec. Arch.**, [S. l.], v. 14, n. 11, nov. 2021.

PRANDO, A. M. *et al.* **Coinoculação da soja com *Bradyrhizobium* E *Azospirillum* na safra 2019/2020 no Paraná**. Londrina: Embrapa, 2020. (Circular Técnica, 166). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/220542/1/Circ-Tec-166.pdf>.

SAITO, A.; TANABATA, S.; TANABATA, T.; TAJIMA, S.; UENO, M.; ISHIKAWA, S. OHYAMA, T. Effect of nitrate on nodule and root growth of soy bean (*Glycinemax* (L.) Merr.). **International Journal of Molecular Sciences**, [S. l.], v. 15, n. 3, p. 4464-4480, 2014.

SCHWEIG, L. A.; LOURENÇO, E. S. O.; MENEGASSO, G. D. Inoculante de longa vida na cultura da soja sob plantio direto. **Revista Faz Ciência**, [S. l.], v. 19, n. 30, p. 99, 2017.

TAÍZ, L.; ZIEGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artemed, 2004.

TOLLER, E. V.; BÁRBARO, I. M.; BÁRBARO-JUNIOR, L. S. Análise de parâmetros de fixação biológica de nitrogênio em cultivares comerciais de soja. **Nucleus**, [S. l.], v. 6, n. 1, abr. 2009.