

AVALIAÇÃO DA INOCULAÇÃO E COINOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO NA CULTURA DA SOJA

ADAME, Karina Sanderson
DIRINGS, Alzemir Junior
GRIGOLO, Pedro Henrique Damian

RESUMO

A utilização de bactérias promotoras de crescimento de plantas no cultivo da soja tem favorecido a produtividade de grãos da oleaginosa. Contudo, as formas de aplicação e os efeitos desses microrganismos na produção de sementes de qualidade ainda são pouco estudados. Objetivou-se com esse trabalho avaliar o efeito da inoculação e coinoculação de bactérias promotoras de crescimento na cultura da soja. O experimento foi implantado na Fazenda Escola do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz, Cascavel - PR, nos meses de setembro a novembro de 2023. O delineamento foi em blocos casualizados, com sete tratamentos e quatro blocos, os tratamentos foram: T1: Atmo + Azzofix + Synflex (2 + 2 + 2 ml Kg⁻¹ semente); T2: Trat 1 + Vorax (1 ml Kg⁻¹ semente); T3: Trat 2 + Phós'Up (1 ml Kg⁻¹ semente); T4: Trat 2 + Phós'Up (100 ml ha⁻¹); T5: Trat 2 + Vorax (50 ml ha⁻¹); T6: Trat 1 + Vorax (50 ml ha⁻¹); T7: sem inoculação (testemunha). A experimentação foi conduzida com a cultivar de soja cultivar BMX Lança Ipro e os parâmetros avaliados foram a germinação (plantas/metro), altura de plantas (cm), número de nós (nós/galhos) e massa verde (g). Os dados com a suposição de normalidade aceita foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5 % de significância e os com a suposição de normalidade rejeitada utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis a 5%. Conclui-se que as formas de inoculação não interferiram significativa na altura de plantas e massa verde. Já os parâmetros avaliados germinação e número de nós mostraram que os tratamentos influenciaram de forma significativa.

PALAVRAS-CHAVE: Inoculação, Coinoculação, Soja, *Bradyrhizobium*, *Azospirillum*.

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma planta anual pertencente à família Fabaceae, subfamília Faboideae, originária do leste da Ásia. Foi introduzida no Brasil por volta de 1882 na Bahia, seguido de São Paulo aproximadamente no ano de 1892. O interesse pela cultura nos primeiros anos de sua implantação era como forrageira e na rotação de culturas (NUNES, 2016).

Utilizada para produção de óleos, rações, alimentos, entre outros, a soja (*Glycine max*) é um grão de extrema importância para o agronegócio mundial. De acordo com o boletim da Conab (2023), a soja deverá atingir uma produção recorde, estimada em 154,6 milhões de toneladas, 23,1% ou 29 milhões de toneladas acima da ocorrida no ciclo passado.

A utilização de bactérias na promoção do crescimento de plantas, é uma abordagem que surge como alternativa para a sustentabilidade agrícola, pois possui a capacidade de impactar a produtividade, com responsabilidade ambiental, podendo ser definida como uma verdadeira micro revolução verde (HUNGRIA *et al.*, 2016). Esses microrganismos compreendem um grupo de bactérias benéficas do solo que se associam às plantas, contribuindo para a boa formação geral das

culturas, melhorando o desenvolvimento das raízes, absorção de água e nutrientes, bem como a tolerância à estresses bióticos e abióticos (HUNGRIA *et al.*, 2021).

As bactérias promotoras de crescimento em plantas compreendem um grupo que atuam por diversos mecanismos, como a fixação de N₂ e a produção de hormônios vegetais, estimulando a ramificação da raiz, aumentam a permeabilidade da raiz, melhoram a absorção de minerais em geral, e aumentam a resistência às condições adversas como seca, salinidade e compostos tóxicos, entre outros (ASHRAF *et al.*, 2011).

Portanto, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da inoculação e coinoculação de bactérias promotoras de crescimento na cultura da soja.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A soja é originária do continente asiático, mais precisamente na região conhecida como China Antiga. Relatos indicam que essa leguminosa servia como base alimentar dos chineses há mais de 5000 anos (CÂMARA, 2015). No atual cenário do agronegócio mundial, a oleaginosa tem um relevante peso na balança comercial, e seu crescimento está inteiramente relacionado as novas práticas agrícolas, aos avanços científicos e disponibilidade de novas tecnologias (PICCOLI, 2018).

Atualmente, a soja é um dos principais produtos na cadeia do agronegócio, como já citado anteriormente, é utilizada até mesmo como moeda na mão de muitos agricultores, cerealistas e corretores, resultando em múltiplos ganhos e contribuindo para o aumento do PIB (produto interno bruto) brasileiro (IBGE, 2014), gerando em torno de 37% de empregos no país e possuir grande relevância no saldo comercial brasileiro (COSTA, 2005).

A crescente demanda do mercado interno e externo por grãos de soja estimulou a adoção de técnicas de manejo que aumentem a produtividade e reduzam os gastos e os impactos ambientais. Neste sentido, a produção e aquisição de sementes de elevada qualidade são fatores essenciais para um ótimo desempenho da cultura (MARCOS FILHO e KIKUTI 2006), visto que as sementes são responsáveis pelo estabelecimento e desenvolvimento inicial das lavouras (SPONCHIADO; SOUZA; COELHO, 2014), podendo favorecer a obtenção de um rendimento mais elevado.

A associação, entre plantas e bactérias, apresenta-se positivamente por ser uma forma limpa, barata e ecologicamente sustentável para o aumento da produtividade vegetal (HAHN, 2013), podendo ser uma alternativa vantajosa para a produção animal a pasto, produção de forragem, qualidade ambiental e manejo de solo, especialmente em condições de baixa fertilidade (HUNGRIA

et al., 2016). Entre os principais microrganismos conhecidamente benéficos às plantas, estão os rizóbios que, em simbiose com plantas leguminosas, mostram expressiva capacidade de fixar quantidades elevadas de nitrogênio e, em plantas não-leguminosas, têm se mostrado promissores na promoção do crescimento vegetal (HAHN, 2013). Além dos rizóbios, bactérias dos gêneros *Azospirillum spp.* e *Pseudomonas spp.* também têm apresentado resultado positivo na fixação biológica de nitrogênio e/ou na promoção do crescimento vegetal em diferentes gramíneas (SCHULTZ, 2012).

2.1 BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO (BPCP)

Dentro do grupo de microrganismos associados às plantas existem espécies com capacidade de promoção de crescimento e sanidade de seus hospedeiros, que são denominados bactérias promotoras de crescimento de plantas (KLOEPPER e SCHROTH, 1978). As BPCP são capazes de se associar as raízes das plantas e estimular o crescimento e rendimento dos cultivos (CHANWAY *et al.*, 1989).

As funções de promoção de crescimento exercidas por bactérias são classificadas em três categorias: biofertilizante, fitoestimulante e biocontrole (BHATTACHARYYA e JHA, 2012). Acredita-se que o BPCPS beneficia o crescimento das plantas através da combinação de um ou mais dos seguintes mecanismos: produção de fitohormônios, fixação biológica de nitrogênio, síntese de sideróforo, controle biológico de pragas e doenças, solubilização de fósforo inorgânico e outros nutrientes e mineralização de fósforo orgânico (PANDEY *et al.*, 2017).

Esses mecanismos podem promover o crescimento vegetal atuando simultaneamente ou em cascata. A fixação biológica de nitrogênio (FBN) é um processo metabólico de redução do N atmosférico (N₂) realizado exclusivamente por alguns grupos bactérias e *Archaea* (ANICETO, 2016). O processo consiste na transformação de N₂ em amônia (NH₃) a partir da quebra da tríplice ligação do N pela enzima nitrogenase. A partir dessa redução, a amônia é rapidamente convertida em amônio (NH₄⁺) e ele, por sua vez, é disponibilizado ao metabolismo da planta hospedeira, assimilando sob a forma de glutamina (MUNIZ *et al.*, 2012).

3. METODOLOGIA

O experimento foi implantado na Fazenda Escola do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz, Cascavel - PR, nos meses de setembro a novembro de 2023. O clima é do tipo subtropical mesotérmico super úmido, apresentando temperatura média anual de 19° C, precipitação anual média de 2000 mm e umidade relativa média anual do ar entre 75 a 81%, em solo classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, o qual caracteriza o solo da região (EMBRAPA, 2009). O delineamento foi em blocos casualizados, com sete tratamentos e quatro blocos, os tratamentos foram compostos por inoculantes, biofertilizantes, fertilizantes e soluções biológicas formadas por bactérias, sendo eles:

T1: Atmo + Azzofix + Synflex (2 + 2 + 2 ml Kg⁻¹ semente);

T2: Trat 1 + Vorax (1 ml Kg⁻¹ semente);

T3: Trat 2 + Phós'Up (1 ml Kg⁻¹ semente);

T4: Trat 2 + Phós'Up (100 ml ha⁻¹);

T5: Trat 2 + Vorax (50 ml ha⁻¹);

T6: Trat 1 + Vorax (50 ml ha⁻¹);

T7: sem inoculação (testemunha).

A experimentação foi conduzida com a cultivar de soja cultivar BMX Lança Ipro e foi utilizado inoculante líquido concentrado com a bactéria *Bradyrhizobium japonicum* (Atmo[®]) e com a bactéria *Azospirillum brasilense* (Azzofix[®]). Juntamente aos inoculantes, aplicou-se nas sementes os seguintes fertilizantes: SynFlex[®] e Vorax[®] e foi utilizada uma solução biológica Phós'Up[®]. Os parâmetros avaliados foram a germinação (plantas/metro), altura de plantas (cm), número de nós (nós/galhos) e massa verde (g).

A semeadura foi realizada em área cultivada com sistema de plantio direto, com o auxílio de trator e plantadeira a área foi riscada e adubada com superfosfato triplo. A semeadura da soja foi realizada de forma manual, com auxílio de uma bicicleta de uma linha. Cada parcela constituiu-se de 3,15 x 6 m, com espaçamento de 0,45 m entre linhas. As sementes foram subdivididas em sacos plásticos contendo 1 kg de semente em cada e homogêneas com os tratamentos.

Seis dias após o plantio, avaliou-se a germinação das plantas e a aplicação foliar ocorreu em estágio V4, um mês da emergência das plântulas.

As análises estatísticas dos dados obtidos foram realizadas de acordo com o modelo matemático apropriado para o delineamento adotado. Para avaliar a normalidade utilizou-se o teste de Shapiro-

Wilk. Os dados com a suposição de normalidade aceita foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5 % de significância e os com a suposição de normalidade rejeitada utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis a 5%. Foi utilizado o programa computacional ActionStat®, versão 2.4 maio/2012.

4. ANÁLISES E DISCUSSÕES

O teste de normalidade de Shapiro-Wilk a 5%, apresentou normalidade para os parâmetros altura das plantas e massa verde. Os dados de germinação e número de nós não seguem uma distribuição normal (Tabela 1).

Os p-valores a 5% de significância, em relação aos parâmetros altura de plantas e massa verde não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos e a média geral foi de 54,14 cm e 178,33 g, respectivamente. Já o p-valor a 5% de significância, avaliado para a germinação e número de nós da soja mostrou que os tratamentos influenciaram de forma significativa, conforme Tabela 1.

Tabela 1- Média da germinação (plantas/metro), altura de plantas (cm), número de nós (nós/galho) e massa verde (g).

Tratamentos	GER	A.P	N.N	M.V
T1	11,23 b	52,85 a	10,00 ab	181,08 a
T2	13,83 a	54,25 a	10,25 ab	186,30 a
T3	12,23 ab	53,05 a	9,75 abc	174,80 a
T4	11,88 b	52,65 a	10,75 a	180,55 a
T5	13,90 a	56,10 a	9,25 bc	150,83 a
T6	13,55 a	57,00 a	10,00 ab	194,40 a
T7	11,55 b	53,10 a	8,50 c	180,35 a
Média	12,60	54,14	9,78	178,33
C.V. (%)	1,41	10,62	5,83	19,27
Shapiro Wilk	0,0010	0,060	0,0016	0,3503
p-valor ANOVA	-	0,8906 ^{ns}	-	0,7083 ^{ns}
p-valor Kruskal-Wallis	< 0,01 ^{**}	-	0,0009 ^{**}	-

CV%: Coeficiente de variação; GER.: germinação; A.P.: altura de plantas; N.N.: número de nós; M.V.: massa verde. **: significativo ao nível de 1% de probabilidade de erro. ns.: não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro. Médias seguida de mesma letra na coluna não diferem entre si.

A comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de significância para a germinação da soja demonstra que os tratamentos 2, 3, 5 e 6 são estatisticamente iguais entre si e que apresentaram as maiores médias em relação aos demais tratamentos. Para os demais tratamentos não houve diferenças a 5% de significância.

Para o número de nós o tratamento 4, apresentou a maior média, 10,75 nós/galho e o tratamento 7, sem inoculação, foi o que menos produziu (8,50 nós/galho). Prado *et al.* (2019), encontraram resultados similares que demonstraram incrementos na nodulação.

Hungria, Nogueira e Araújo (2013), ressaltam que as bactérias do gênero *Azospirillum* estimulam a produção de pelos radiculares, o que pode resultar na produção de uma maior quantidade de nódulos nas raízes das plantas leguminosas. Como a formação de nódulos é resultante da simbiose entre *B. japonicum* e a planta, que inicia nos pelos radiculares, isto explica o melhor resultado obtido para a coinoculação em relação a inoculação isolada de *B. japonicum*, aplicados via semente.

Bárbaro *et al.* (2009) observaram em seu trabalho que, plantas de soja inoculadas com *A. brasilense* e *B. japonicum*, via semente, apresentaram sistemas radiculares mais desenvolvidos. De forma semelhante, Kumar e Chandra (2008), constataram o aumento do sistema radicular e, conseqüentemente, da nodulação em plantas de lentilha como resultado da coinoculação entre bactérias do gênero *Rhizobium* e *Azospirillum*.

O crescimento radicular favorece a nodulação e, conseqüentemente, aumenta a disponibilidade e a absorção de água e nutrientes pela planta, principalmente o N, o que afeta a formação e composição química das sementes assim como seu metabolismo e vigor (CARVALHO e NAKAGAWA, 2012). Plantas bem nutridas e vigorosas, produzem sementes de maior qualidade fisiológica (MATTUELLA *et al.*, 2018).

Os coeficientes de variação para germinação e número de nós foram baixos, para a altura de plantas e massa verde foram médios. Como explica a classificação proposta por Pimentel-Gomes (1985), onde o CV será baixo quando inferior a 10%; médio, entre 10 e 20%; alto, quando entre 20 e 30%; e muito alto, quando são superiores a 30%.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que as formas de inoculação não interferiram significativamente na altura de plantas e massa verde. Já os parâmetros avaliados germinação e número de nós mostraram que os tratamentos influenciaram de forma significativa.

REFERÊNCIAS

ANICETO, R.M. Modulação da comunidade bacteriana associada ao milho (*Zea mays L.*) através da inoculação de bactérias promotoras de crescimento de plantas. **Tese de Doutorado**. Universidade de São Paulo. Piracicaba, São Paulo. 2016.

ASHRAF, Muhammad Arslan, et al. Nitrogen fixation and indole acetic acid production potential of bacteria isolated from rhizosphere of sugarcane (*Saccharum officinarum L.*). **Adv Biol Res**, v. 5, n. 6, p. 348-355, 2011.

BÁRBARO, I. M.; MACHADO, P. C.; BÁRBARO JUNIOR, L. S.; TICELLI, M.; MIGUEL, F. B.; SILVA, J. A. A. Produtividade da soja em resposta à inoculação padrão e coinoculação. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 5, n. 1, p.1-7, 2009.

BHATTACHARYYA, P.N.; JHA, D.K. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Emergence in agriculture World. **Journal of Microbiology and Biotechnology**, 28(4): 1327–1350. 2012.

CÂMARA, G. **Introdução ao agronegócio soja**. 2015. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5746644/mod_resource/content/1/LPV%200584%202017%20-%20REVISAO%20Soja%20Apostila%20Agronegocio%20%282%29.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2023.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5.ed. Jaboticabal: FUNEP, 590 p, 2012.

CHANWAY, C.P.; HYNES, R.K.; NELSON, L.M.. Plant growth-promoting rhizobacteria: effects on growth and nitrogen fixation of lentil (*Lens esculenta Moench*) and pea (*Pisum sativum L.*). **Soil Biology and Biochemistry**, 21(4): 511-517. 1989.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Boletim da safra de Grãos**. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v. 10, n. 12, p. 1-111, 2023.

COSTA, N. L. Complexo soja: sua importância para o agronegócio, a balança comercial e a economia brasileira. **Monografia de especialização**. Frederico Westphalen: Universidade Regional Integrada, 2005.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, Centro nacional de pesquisa de solos. **Sistema brasileiro de Classificação do Solo**. Brasília, EMBRAPA produção de informações, 2009.

HAHN, L. Promoção de crescimento de plantas gramíneas e leguminosas inoculadas com rizóbios e bactérias associativas. **Tese de doutorado**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Rio Grande do Sul. 2013.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Tecnologia de coinoculação da soja com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*: Incrementos no rendimento com sustentabilidade e baixo custo. **Comissão de Nutrição vegetal, Fertilidade e Biologia do solo**. Pg 151-153. 2013.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M.A.; ARAUJO, R.S. Inoculation of *Brachiaria spp.* with the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*: an environment-friendly component in the reclamation of degraded pastures in the tropics. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 221: 125-131. 2016.

HUNGRIA, M.; RONDINA, A.B.L.; NUNES, A.L.P.; ARAUJO, R.S.; NOGUEIRA, M.A. Seed and leaf-spray inoculation of PGPR in brachiarias (*Urochloa spp.*) as an economic and environmental opportunity to improve plant growth, forage yield and nutrient status. **Plant And Soil**, 463(1): 171-186. 2021.

IBGE. Pesquisas: **Censo Agropecuário**. 2014. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo2.asp?e=v&p=CA&z=t&o=11>>. Acesso em: 23 nov. 2023.

KLOEPPER, J.W.; SCHROTH, M.N. Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes. Proceedings of the **4th international conference on plant pathogenic bacteria**, v. 2, p. 879 – 882. 1978.

KUMAR, R.; CHANDRA, R. Influence of PGPR and PSB on *Rhizobium leguminosarum* bv. viciae strain competition and symbiotic performance in lentil. **World Journal of Agricultural Sciences**, Aleppo, v. 4, n. 3, p.297-301, 2008.

MARCOS FILHO, J.; KIKUTI, A. L. P. Vigor de sementes de rabanete e o desempenho de plantas em campo. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 28, n. 3, p.44-51, 2006.

MATTUELLA, D.; SIMIONI, S. P.; SEGATTO, C.; CIGEL, C.; ADAMS, C. R.; KLEIN, C.; LAJÚS, C. R.; SORDI, A. Eficiência agrônômica da cultura do trigo submetida a doses de nitrogênio em diferentes estádios ontogênicos. **Ciência Agrícola**, Alagoas, v. 16, n. 3, p.1-9, 2018.

MUNIZ, A.W.; WORDELL FILHO, J.A.; De SA, E.L.S. Promoção de crescimento vegetal por rizóbios. **Revista Agropecuária Catarinense**. v. 25, n. 3, p. 45-47. 2012.

NUNES, J. L. da S. **Histórico: Soja**. 2016. Disponível em: . Acesso em: 23 nov. 2023.

PANDEY, P.K.; SINGH, M.C.; SINGH, S.S.; KUMAR, A.K.; PATHAK, M.M.; SHAKYWAR, R.C.; PANDEY, A.K. Inside the plants: endophytic bacteria and their functional attributes for plant growth promotion. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, 6(2): 11-21. 2017.

PICCOLI, E. A importância da soja para o agronegócio: Uma análise sob o enfoque do aumento da produção de agricultores no município de Santa Cecília do Sul. **Monografia**, 45 pg. Tapejara, RS. 2018.

PIMENTEL-GOMES, F. Curso de Estatística Experimental. 12. ed. Piracicaba: **Livraria Nobel**, 467p., 1985.

PRADO, A. M. Coinoculação da soja com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* na safra 2018/2019 no paraná. **Embrapa, Circular Técnica**, n. 156, nov. 2019.

SPONCHIADO, J. C.; SOUZA, C. A.; COELHO, C. M. M. Teste de condutividade elétrica para determinação do potencial fisiológico de sementes de aveia branca. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 4, p.2405-2414, 2014.

SCHULTZ, N.; MORAIS, R.F. D.; SILVA, J.A. D.; BAPTISTA, R.B.; OLIVEIRA, R.P.; LEITE, J.M.; BODDEY, R.M. Avaliação agrônômica de variedades de cana-de-açúcar inoculadas com bactérias diazotróficas e adubadas com nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 47(2): 261-268. 2012.