

***Bacillus* sp. como promotor de crescimento em soja**

***Bacillus* sp. as a growth promoter in soy**

Aloísio Freitas Chagas Junior^{1,*}, Elias Borba¹, Albert Lennon Lima Martins², Manuella Costa Souza¹, Flávia Luane Gomes¹, Rodrigo Silva de Oliveira¹ e Lillian França Borges Chagas¹

¹ Universidade Federal do Tocantins, Gurupi (TO), Brasil

² Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Belo Horizonte (MG), Brasil

(*E-mail: chagasjraf@uft.edu.br)

<https://doi.org/10.19084/rca.22557>

Recebido/received: 2021.01.22

Aceite/accepted: 2021.06.03

RESUMO

As rizobactérias promotoras de crescimento em plantas tem ganho interesse espaço na agricultura mundial, como uma alternativa ao uso de defensivos agrícolas químicos. A soja, por ser um dos principais grãos exportados pelo Brasil, merece destaque em estudos deste âmbito. Desta forma, sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merr.) foram inoculadas com *Bacillus* sp. objetivando-se avaliar a viabilidade desta rizobactéria como promotora de crescimento vegetal. Foram testados quatro tratamentos com diferentes doses de inoculante à base de *Bacillus* sp.: 100, 200, 300 e 400 mL de inoculante para 50 kg de sementes, com uma concentração de 1×10^8 UFC mL⁻¹, mais uma testemunha sem inoculação. As avaliações foram feitas aos 30 e 45 dias após a semeadura (DAS). Aos 45 DAS, a altura da planta, comprimento radicular, massa seca da parte aérea, massa seca radicular e massa seca total foram estatisticamente superiores para todas as doses de inoculante aplicadas, quando comparadas à testemunha. O número de entrenós também aumentou significativamente nas diferentes doses de inoculante utilizadas, em comparação ao tratamento testemunha. A inoculação de sementes com *Bacillus* sp. apresentou-se como uma alternativa viável para promoção de crescimento em plantas de soja.

Palavras-chave: Bactéria, Produção de biomassa, *Glycine max*.

ABSTRACT

Plant-growth promoting rhizobacteria have been gaining interest in agriculture worldwide as an alternative to the use of chemical pesticides. Soybean, being one of the main grains exported by Brazil, deserves attention in studies of this scope. Thus, soybean seeds (*Glycine max* (L.) Merr.) were inoculated with *Bacillus* sp. aiming to evaluate the viability of this rhizobacteria as a plant growth promoter. Four treatments with different doses of *Bacillus* sp. inoculant were tested: 100, 200, 300 and 400 mL of inoculant for 50 kg of seeds, with a concentration of 1×10^8 CFU mL⁻¹, plus one control without inoculation. The evaluations were made at 30 and 45 days after seedling (DAS). At 45 DAS, plant height, root length, shoot dry mass, root dry mass and total dry mass were statistically higher for all applied doses when compared to the control. The number of internodes also increased significantly in the different doses used, compared to control treatment. Inoculation of seeds with *Bacillus* sp. was a viable alternative for growth promotion in soybean plants.

Keywords: Bacteria, Biomass production, *Glycine max*.

INTRODUÇÃO

A agricultura é responsável por uma parcela importante da economia brasileira, que destaca-se mundialmente na produção de grãos. A soja, segundo o CONAB (2018), foi o principal produto exportado em 2017 (responsável por 14,1% de toda exportação do país), ultrapassando inclusive derivados do minério e petróleo.

Dos vários fatores que podem interferir na produtividade das culturas, destacam-se os climáticos, como o regime pluvial, e os fitossanitários. Organismos patogênicos que atingem as culturas agrícolas tornam-se cada vez mais resistentes, o que exige a utilização de defensivos agrícolas mais fortes e em maior escala. Por outro lado, uma parcela da sociedade exige controles rigorosos no uso indiscriminado de agrotóxicos, prezando pela produção orgânica e natural, seja por questões ambientais ou de saúde (Park *et al.*, 2017).

Desta forma, criar de alternativas econômica e ambientalmente viáveis torna-se necessário para o controle de pragas que atingem as culturas agrícolas. Das várias alternativas disponíveis, o controle biológico de patógenos destaca-se, uma vez que é uma forma natural de controlar organismos patogênicos e auxiliar no crescimento da planta (Melo, 2015).

Este controle é realizado por bactérias presentes naturalmente no solo, conhecidas como rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCP) e podem agir sob diferentes aspectos da cultura com que interagem. Dentre as vantagens do uso de RPCP para o controle de patógenos, destaca-se a sua ocorrência natural em solos, sua resiliência e capacidade de auxiliar no suprimento de nutrientes essenciais às plantas (Melo, 2015).

As RPCP mais utilizadas com fins agronômicos são *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas putida*, *Azospirillum brasiliense*, *Serratia marcescens*, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Arthrobacter*, *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*. Ressalta-se que as bactérias do gênero *Bacillus* possuem algumas vantagens em relação às outras, uma vez que são resistentes

à dessecação, produzem endósporo de resistência, possuem capacidade de sobrevivência quando formuladas com polímeros e inertes, além de apresentarem mecanismos antagônicos (Lanna-Filho, 2010; Melo, 2015).

O gênero *Bacillus* compreende 191 espécies e quatro subespécies, que estão presentes naturalmente no ar, solo e água. O seu potencial promotor de crescimento e biocontrole já foi evidenciado por diversos estudos (Marulanda *et al.*, 2009; Harthmann *et al.*, 2010; Melo, 2015). É uma bactéria gram-positiva, aeróbica e formadora de esporos. O seu uso não se restringe à agricultura, uma vez que possui potencial no tratamento de efluentes, biorremediação, limpeza e desodorização, tratamento séptico e na produção de enzimas e de produtos químicos (Government of Canada, 2018).

Conforme relatado por Lima *et al.* (2019), o mecanismo utilizado pelas RPCP para crescimento das plantas pode ser direto ou indireto. Segundo o autor, a promoção indireta de crescimento das plantas se dá pela prevenção ou diminuição de efeitos deletérios de um ou mais organismos patogênicos. Já a promoção direta de crescimento diz respeito ao aumento da absorção de nutrientes pela planta, causado pelas RPCP, como a fixação biológica do azoto, mobilização e solubilização do fósforo e produção de fitohormônios.

Espécies de *Bacillus subtilis* têm um efeito benéfico sobre a nodulação (Araújo *et al.*, 2010), agindo, também, indiretamente na supressão de doenças e diretamente na produção ou alteração da concentração de fitohormônios, fixação do nitrogênio, solubilização de fosfatos minerais ou outros nutrientes do solo, pelo aumento da produção de raízes e sideróforos (Gagné-Bourque *et al.*, 2015). Assim, podem promover um aumento na produtividade (Braga Junior *et al.*, 2018), especialmente quando associados a outras práticas de manejo, como a fertilização (Lima, 2010; Braga Junior *et al.*, 2017).

Desta forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar o potencial e a viabilidade da rizobactéria *Bacillus* sp. como promotora de crescimento na cultura da soja, através da inoculação de sementes.

MATERIAL E MÉTODOS

Isolamento e identificação

Foi utilizada uma estirpe de *Bacillus* sp., visando seu potencial como promotor de crescimento vegetal, proveniente da coleção do Laboratório de Microbiologia da UFT – Universidade Federal do Tocantins, obtida de solo do cerrado em áreas de cultivo no Estado do Tocantins. A estirpe foi mantida em crescimento e repicada em meio LB (*Luria-Bertani*).

Foi realizada uma identificação preliminar, considerando as características morfológicas, estruturais e bioquímicas, seguindo a metodologia do Manual de Bacteriologia Determinativa de Bergey (Bergey e Gibbons, 1974).

Em seguida foi realizada a caracterização genética pelo sequenciamento da região 16S rRNA, realizada pela empresa GoGenetic, onde foi utilizada a técnica de Sanger. A determinação do gênero e espécie bacteriana foi realizada através da comparação da sequência consenso obtida contra a base de dados do Centro Nacional de Informações Biotecnológicas (NCBI, 2017), utilizando a ferramenta BLAST, apresentando 99,07% de identidade com o grupo de *Bacillus cereus*.

Cultivo de Bacillus sp. em meio líquido

A estirpe de *Bacillus* foi inoculada em um Erlenmeyer de 250 mL contendo meio Caldo nutriente (Peptona de carne 5 g L⁻¹; extrato de carne 3 g L⁻¹ água destilada e pH 7,4). Os meios foram esterilizados (autoclavados a 121 °C por 20 minutos), assepticamente inoculados à temperatura ambiente e incubados em câmara incubadora Shaker, com agitação orbital a 35 °C por 4 dias para que ocorresse a multiplicação de células.

Após este período, retirou-se uma alíquota e realizou-se a contagem das unidades formadoras de colônias (UFC) por mL, em meio LB, sendo apresentada a contagem de 1x10⁸ UFC mL⁻¹.

Ensaio de inoculação de plantas de soja

Foi realizado o experimento em condições de casa de vegetação, para avaliação e confirmação do efeito e influência do *Bacillus* sp. como inoculante na promoção de crescimento em soja.

Para o experimento foi utilizado solo classificado como Latossolo Vermelho Amarelo (crivado) de textura média, na profundidade de 0-20 cm, obtido na área da estação experimental da UFT, apresentando as seguintes características químicas: Ca+Mg 1,8 cmol/dm³; Ca 2,2 cmol/dm³; Mg 1,1 cmol/dm³; Al 0,0 cmol/dm³; H+Al 1,5 cmol/dm³; K 19,0 mg/dm³; CTC (T) 7,51 cmol/dm³; SB 3,3 cmol/dm³; P (Mel) 5,7 mg/dm³; V 69%; Mat. Org. 29,5%; pH H₂O 5,8. As características granulométricas encontradas foram: 70,1, 7,2 e 22,7% de areia, limo e argila, respectivamente.

A cultivar de soja utilizada foi a M 9144 que apresenta as seguintes características fenotípicas: porte semi-ereto, hábito de crescimento determinado, altura média de 72 cm, flores de cor branca, cor do hilo preta, grupo de maturidade 8.2. É uma variedade amplamente adaptada, com elevado potencial produtivo e podendo ser utilizado como 2^a safra, devido a sua precocidade.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com quatro repetições para cada época de avaliação, sendo cinco tratamentos constituídos por quatro doses do inoculante à base de *Bacillus* sp. (100, 200, 300 e 400 mL para 50 kg de sementes), mais uma testemunha sem inoculação. A unidade experimental foi composta por um vaso contendo duas plantas, totalizando oito plantas por tratamento por época de avaliação.

As sementes de soja foram inicialmente inoculadas com rizóbio (*Bradyrhizobium japonicum*), sendo utilizada a estirpe SEMIA 5079 e SEMIA 5080 para a soja (3x10⁹ UFC por mL⁻¹), com a finalidade de obter uma boa nodulação das raízes das plantas, garantindo o suprimento de nitrogênio à cultura.

Posteriormente as diferentes doses do inoculante à base de *Bacillus* sp. foram aplicados diretamente nas sementes uma hora antes da sementeira.

No experimento foi realizada a adubação de base conforme recomendação para cultura e análise do solo, utilizando-se o formulado 5-25-15 na proporção de 400 Kg ha⁻¹.

Para a instalação dos experimentos foram utilizados vasos com capacidade de 3,8 L, preenchidos de solo, onde foram semeadas 10 sementes por vaso e após a germinação foi feito o desbaste deixando duas plantas por vaso. A irrigação foi feita manualmente, fornecendo água para as plantas até a capacidade de campo do solo.

Foram feitas duas avaliações, a primeira no estágio fenológico vegetativo da cultura (V3-V5) aos 30 dias após a semeadura, a segunda no estágio vegetativo (V6-V7) aos 45 dias após a semeadura. Em ambas as avaliações separaram-se o sistema radicular da parte aérea das plantas e as raízes foram lavadas em água corrente para remoção do solo aderido. Aos 45 dias após a semeadura avaliou-se, também, o número de nódulos (NN).

Em seguida, o material foi colocado para secagem em estufa com ventilação forçada a 65 °C por 72 horas até atingir massa constante, obtendo-se assim a massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR) e massa seca total (MST). Com os dados de MSPA determinou-se a eficiência relativa (ER) de cada tratamento, que relaciona a biomassa da parte aérea dos tratamentos inoculados com *Bacillus* sp. com o tratamento sem inoculação, calculada segundo a fórmula: ER = (MS inoculada com *Bacillus* sp./ MS sem inoculação de *Bacillus* sp.) x 100.

Análise estatística

Foi utilizado o programa estatístico Sisvar para análise de variância e o teste Skott-knott para comparação de valores médios da altura, número de entrenós (NE), comprimento de raiz (CR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz

(MSR) e massa seca total (MST) de plantas de soja inoculadas com *Bacillus* sp. aos 30 e 45 DAS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tratamentos inoculados com *Bacillus* sp. nas doses de 200 e 300 mL apresentaram aumento significativo da altura das plantas, aos 30 DAS, de 15 e 9%, respectivamente. Para o parâmetro número de entrenós, foi observado aumento significativo em relação à testemunha para todas as doses aplicadas, alcançando 23% para as doses de 100, 300 e 400 mL. Já o comprimento de raízes mostrou-se estatisticamente superior somente nos tratamentos de 300 e 400 mL (Quadro 1).

Harthmann *et al.* (2010) observaram os efeitos da aplicação de *B. megaterium* em sementes de cebola, sendo que as plantas sujeitas a inoculação apresentaram maior altura, diâmetro de pseudocaule e número de folhas, quando comparadas à testemunha. Os autores concluíram que a utilização da rizobactéria promove aumento da produtividade em *Allium cepa* L.

O aumento para a massa seca da parte aérea e massa seca total são estatisticamente significativos em relação à testemunha, no entanto, o aumento decresce quando a dose de inoculante aumenta (Quadro 2). Para a massa seca radicular, os tratamentos

Quadro 1 - Altura, número de entrenós (NE), comprimento de raiz (CR), em soja M 9144 RR inoculada com *Bacillus* sp., 30 dias após a sementeira¹

Tratamentos	Altura (cm vaso ⁻¹)	NE	CR (cm vaso ⁻¹)
Testemunha	16,5 b	4,3 b	33,3 b
100 mL	17,3 b	5,3 a	35,0 b
200 mL	19,00 a	5,0 a	36,8 b
300 mL	18,0 a	5,3 a	39,8 a
400 mL	17,3 b	5,3 a	42,8 a
CV (%) ²	5,3	9,3	7,5

¹ Médias seguidas de mesma letra minúscula, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 1 e 5% de significância.

² CV = Coeficiente de variação.

Quadro 2 - Massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e massa seca total (MST) em soja M 9144 RR inoculada com *Bacillus* sp., 30 dias após a sementeira¹

Tratamentos	MSPA (mg vaso ⁻¹)	MSR (mg vaso ⁻¹)	MST (mg vaso ⁻¹)
Testemunha	48,8 b	38,0 b	86,8 b
100 mL	63,8 a	44,0 a	107,8 a
200 mL	60,0 a	41,3 b	101,3 a
300 mL	64,3 a	44,0 a	108,3 a
400 mL	59,5 a	40,0 b	99,5 a
CV (%) ²	7,9	5,2	6,0

¹ Médias seguidas de mesma letra minúscula, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 1 e 5% de significância.

² CV = Coeficiente de variação.

com 100 e 300 mL diferiram estatisticamente da testemunha aos 30 DAS (Quadro 2). Estes resultados podem ser observados na Figura 1.

Um estudo conduzido por Marulanda *et al.* (2009), verificou que *B. megaterium* apresentou efeito positivo no crescimento de *Trifolium repens*, tolerância osmótica e produção do aminoácido prolina. Os autores relatam que a bactéria possui mecanismos capazes de diminuir os efeitos do déficit hídrico das plantas após inoculação, uma vez que houve maior produção de ácido indolacético. No mesmo estudo, a biomassa aérea e radicular das plantas de

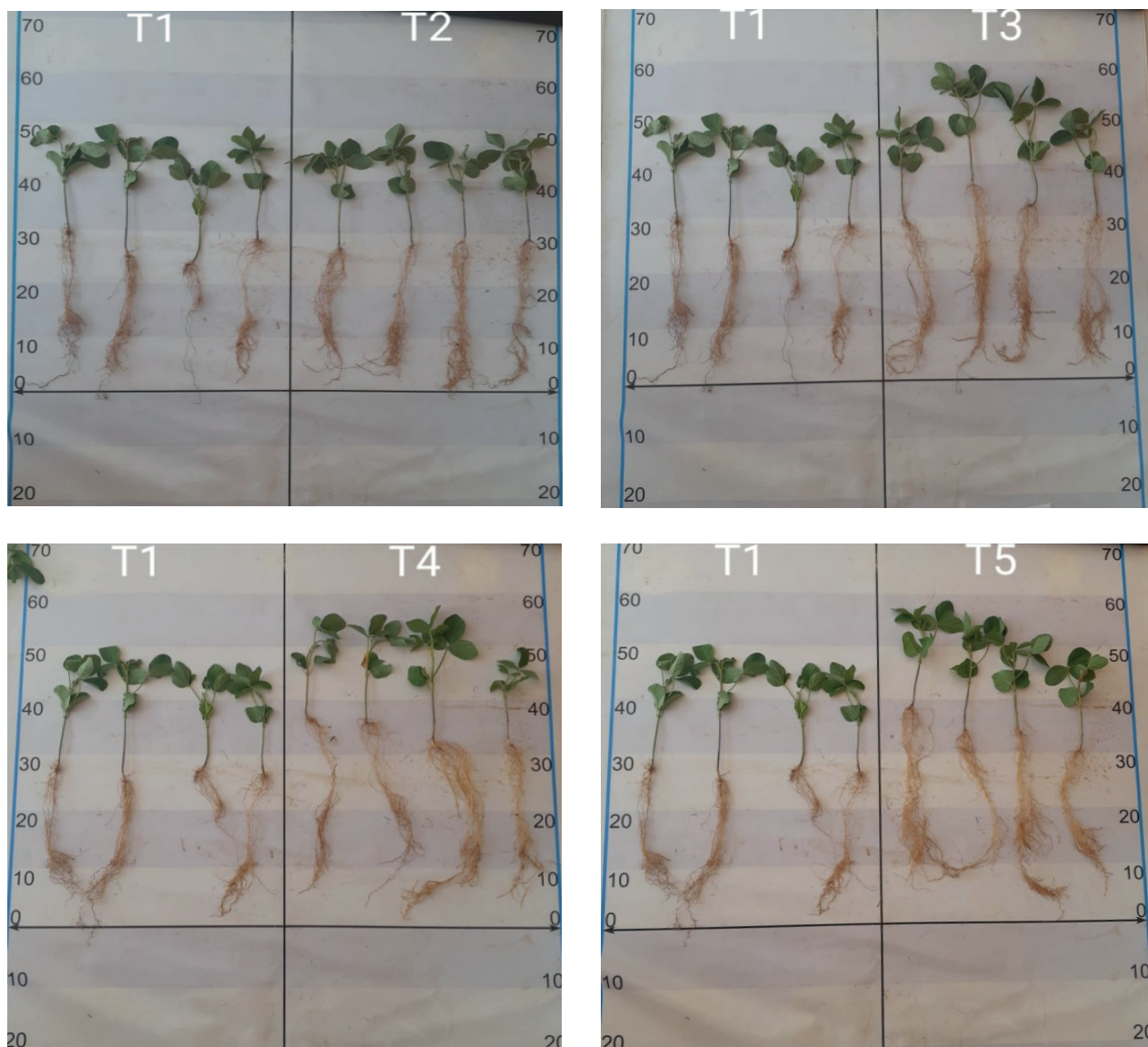


Figura 1 - Plantas de soja inoculadas com *Bacillus* sp. aos 30 DAS, em comparação ao tratamento testemunha. T1 = testemunha; T2 = dose 100 mL; T3 = dose de 200 mL; T4 = dose de 300 mL; T5 = dose de 400 mL. Doses em mL para 50 kg de sementes de soja.

trevo inoculadas com *B. megaterium* foi superior ao das testemunhas, bem como a capacidade de retenção de água.

Aos 45 DAS, a altura das plantas de soja diferiu significativamente em todas as doses de inoculante utilizadas, com destaque para a dose de 100 mL, onde houve um acréscimo de 20% em relação à testemunha. O número de entrenós foi afetado positivamente aos 45 DAS, com exceção do tratamento com 200 mL, que não se revelou estatisticamente significativo relativamente à testemunha. No comprimento das raízes, houve diferença significativa em todas as doses de inoculante utilizadas, com ênfase para o tratamento de 100 mL, que foi 20,9% superior à testemunha (Quadro 3). Mais uma vez, os resultados obtidos indicam que o uso da menor dose de inoculante (100 mL) é suficiente para a promoção de crescimento das plantas de soja.

Quanto ao número de nódulos (NN), aos 45 DAS, não houve diferenças significativas entre os tratamentos (Quadro 3). A inoculação de *B. subtilis* não interferiu negativamente na nodulação, ocorrendo o processo natural de nodulação. Araújo *et al.* (2010), em experimento com feijão caupi avaliando a co-inoculação de *B. subtilis* e *Bradyrhizobium*, mostraram que nos tratamentos inoculados, houve um aumento na nodulação do feijão-caupi com a co-inoculação, sugerindo uma influência do *B. subtilis* no aumento de nodulação pelo *Bradyrhizobium* inoculado. Araújo *et al.* (2012) reportaram que, utilizando o feijão caupi cultivar BRS Guariba, a simples inoculação de *B. subtilis* (PRBS-1) proporcionou o maior aumento no crescimento da planta,

maior fixação de N e não afetou a nodulação, aos 40 e 55 dias após a semeadura.

Aos 45 DAS, a massa seca da parte aérea, massa seca da raiz e massa seca total de plantas inoculadas com *Bacillus* sp., foi significativamente superior quando comparadas ao tratamento testemunha, para todas as doses de inoculante aplicadas (Quadro 4).

Marulanda *et al.* (2010) verificaram o efeito da inoculação de plantas de milho (*Zea mays* L.) com *B. megaterium* e relataram o aumento de biomassa de raízes e área foliar, além de teores elevados de água nas folhas e maior condutância hídrica nas raízes. Estes efeitos também foram observados por Ferreira *et al.* (2018) com a utilização de *B. subtilis* que promoveu melhor crescimento das plantas de milho sob estresse salino e atenuou os danos bioquímicos no milho.

Foi observado incremento na massa seca de plantas de tomate (31%), quiabo (36%) e amaranto (83%) através da utilização de *B. subtilis* como promotora de crescimento. Foi observada ainda a capacidade da rizobactéria de formar endósporos resistentes ao calor e à dessecação, evidenciando a versatilidade do uso deste gênero de bactérias como RPCP (Adesemoye *et al.*, 2008).

Mazzucchelli e Araújo (2011) observaram incremento da massa aérea de cana de açúcar que recebeu tratamento com inoculação de isolados de *B. subtilis*. Da mesma forma, Araújo e Marchesi (2009) observaram aumento na altura e na

Quadro 3 - Massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e massa seca total (MST) em soja M 9144 RR inoculada com *Bacillus* sp., 30 dias após a sementeira¹

Tratamentos	MSPA (mg vaso ⁻¹)	MSR (mg vaso ⁻¹)	MST (mg vaso ⁻¹)
Testemunha	48,8 b	38,0 b	86,8 b
100 mL	63,8 a	44,0 a	107,8 a
200 mL	60,0 a	41,3 b	101,3 a
300 mL	64,3 a	44,0 a	108,3 a
400 mL	59,5 a	40,0 b	99,5 a
CV (%) ⁵	7,9	5,2	6,0

¹ Médias seguidas de mesma letra minúscula, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 1 e 5% de significância.

² CV = Coeficiente de variação.

Quadro 4 - Altura, número de entrenós (NE), comprimento de raiz (CR) e número de nódulos (NN) em soja M 9144 RR inoculada com *Bacillus* sp., 45 dias após a sementeira¹

Tratamentos	Altura (cm vaso ⁻¹)	NE	CR (cm vaso ⁻¹)	NN
Testemunha	30,0 b	5,5 b	32,5 c	27 a
100 mL	36,0 a	7,3 a	39,3 a	30 a
200 mL	34,3 a	6,3 b	36,3 b	32 a
300 mL	34,8 a	7,3 a	34,8 b	33 a
400 mL	35,8 a	6,8 a	34,8 b	30 a
CV (%) ²	3,9	8,3	4,0	11,5

¹ Médias seguidas de mesma letra minúscula, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 1 e 5% de significância.

² CV = Coeficiente de variação.

biomassa de plantas de tomateiros que receberam tratamento com inoculação de *B. subtilis*. Os autores sugerem que tais atividades podem estar relacionadas ao controle de nematoides ocasionado por bactérias deste gênero, que também foi verificado por Aravind *et al.* (2010), com a supressão de *Radopholus similis* em plantas de pimenta preta (*Piper nigrum* L.) tratadas com *B. megaterium*. Padgham e Sikora (2007) também reportaram redução do nematoide *Meloidogyne graminicola* em sementes de arroz inoculadas com *B. megaterium*, sendo que o uso da rizobactéria compromete a capacidade de o nematoide encontrar hospedeiros.

A capacidade de estimular o crescimento de plantas através do uso de bactérias tem sido corroborada por diversos estudos, como o de Raasch *et al.* (2013), que verificaram um aumento expressivo na altura de plantas de eucalipto, na massa radicular e comprimento de raízes de eucalipto inoculado com *B. subtilis*. Também utilizando *B. subtilis*, Araújo *et al.* (2012) verificaram que a bactéria pode ser utilizada como controle biológico contra o nematoide das galhas em cultivo de soja, apresentando eficácia semelhante ao controle químico.

A Figura 2 mostra a eficiência relativa (ER) da soja aos 30 DAS, em relação ao tratamento testemunha. A dose que apresentou maior eficiência foi a de 300 mL, com 32% em relação à testemunha, seguida pela de 100 mL, com 31%. Estes resultados estão diretamente relacionados com a MSPA (Quadro 2).

Conforme relatado por Chung *et al.* (2008), bactérias do gênero *Bacillus* são capazes de produzir lipopeptídios como a fengicina, iturina, surfactina e

baicilomina, que possuem atividades antimicrobianas, como indutoras de resistência, auxiliando ainda no controle biológico de patógenos, o que pode contribuir, como mecanismo indireto, para o seu potencial como promotor de crescimento de plantas. Estes resultados são corroborados por Hu *et al.* (2013), que verificaram que isolados de *B. megaterium* possuem mecanismos capazes de colonizar o sistema radicular de plantas e estimular a produção de iturina C e D, bacilosina AB e D. Em experimento conduzido com colza, a inoculação com *Bacillus* mostrou que, além de auxiliar no crescimento da massa foliar e radicular das plantas, estes tratamentos foram capazes de suprimir o fungo *Sclerotinia sclerotiorum*, um dos principais patógenos que acometem a cultura.

Na Figura 3 está demonstrada a eficiência relativa das plantas 45 DAS, tendo havido aumento significativo para todos os tratamentos, com 31, 29, 28 e 30% para os tratamentos de 100, 200, 300 e 400 mL, respectivamente, em relação à testemunha.

Subramanian *et al.* (2014) também observaram aumento significativo de ácido indolacético (auxina relacionada com a regulação de crescimento vegetal) em plantas de soja (*Glycine max* (L.) Merr.) inoculada com *B. megaterium*. Além disso, foi observada a produção de celulase, sideróforos e solubilização de fosfato, mecanismos que podem explicar a contribuição da rizobactéria como promotora de crescimento, como observado no presente estudo.

Calvo *et al.* (2010) estudaram 63 estirpes de *Bacillus* spp. isoladas da rizosfera de batatas, e verificaram

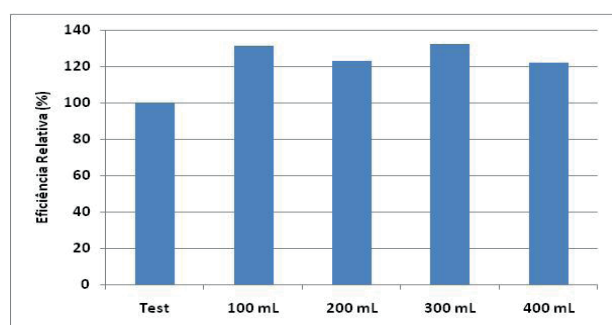


Figura 2 - Eficiência relativa (ER) da soja inoculada com *Bacillus* sp. em relação à testemunha (Test) sem inoculação aos 30 dias após a semeadura. Doses em mL para 50 kg de sementes de soja.

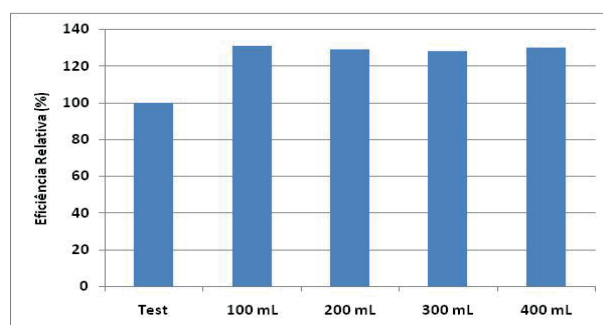


Figura 3 - Eficiência relativa (ER) da soja inoculada com *Bacillus* sp. em relação à testemunha (Test) sem inoculação aos 45 dias após a semeadura. Doses em mL para 50 kg de sementes de soja.

que as mesmas possuíam alto poder antagonista contra os fungos *Rhizoctonia solani* e *Fusarium solani*. Os autores também observaram outras atividades responsáveis pela promoção de crescimento nas plantas de batata, sendo que 81% das estirpes analisadas produziram a auxina ácido indolacético. A capacidade de solubilizar fosfato também foi observada em 58% das estirpes, sendo este um método de ação amplamente encontrado em RPCP, uma vez que a solubilização aumenta a disponibilidade deste nutriente para as plantas, facilitando sua absorção.

Li *et al.* (2017) analisaram a capacidade de biocontrole e promoção de crescimento de estirpes de *B. amyloliquefaciens* em plantas de tomate. Os autores observaram uma redução de 84% na incidência de murcha bacteriana para tomates tratados com a bactéria por imersão da raiz. Foi observada ainda redução na peroxidação lipídica das folhas. Outras bactérias do gênero *Bacillus*, como a *B. circulans* e *B. subtilis* também apresentaram capacidade de controle fitopatogênico em tomateiros. Plantas inoculadas com as rizobactérias provaram-se eficazes no controle da murcha de fusário em tomates (Carer-Filho *et al.*, 2015). Acredita-se que o mecanismo utilizado pelas bactérias é a inibição do crescimento micelial dos fungos, além da presença de genes biosintetizantes, que atuam principalmente na síntese de substâncias antimicrobianas, como bacilomina D e iturina. Estes efeitos positivos de espécies de *Bacillus* no biocontrole de fitopatógenos podem influenciar, de forma indireta, na promoção de crescimento vegetal.

Segundo Nascente *et al.* (2020), os maiores aumentos no rendimento de grãos e componentes de rendimento de plantas de arroz inoculadas com *Bacillus thuringiensis* BRM 32110 pode ser explicado, pelo menos em parte, pelo aumento nas trocas gasosas, conteúdo de nutrientes e produção de biomassa dos rebentos, havendo influência positiva da inoculação com *B. thuringiensis* no desenvolvimento das plantas. Isso pode ocorrer porque a estirpe BRM 32110 é caracterizada como produtora de celulase, fosfatase, sideróforos, biofilme e hormônios o que permitiu um melhor desenvolvimento da raiz e absorção de nutrientes, levando a um efeito direto na produção de biomassa (Nascente *et al.*, 2017).

CONCLUSÕES

A inoculação de sementes de soja com *Bacillus* sp. apresenta potencial para incrementar o crescimento das plantas, na altura da planta, número de entrenós, comprimento das raízes e a massa seca da parte aérea e radicular. O aumento da dose do inoculante não potenciou maior crescimento das plantas quando comparado à dose mínima utilizada. Tal fato sugere que a dose de 100 mL para 50 Kg de sementes é suficiente para garantir resultados satisfatórios na promoção de crescimento da soja.

As informações relatadas neste estudo, com a inoculação de *Bacillus* sp. em soja, podem ser utilizadas em aplicações futuras, para o desenvolvimento de ferramentas biotecnológicas para promover o crescimento de plantas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adesemoye, A.O.; Obini, M. & Ugoji, E.O. (2008) – Comparison of plant growth-promotion with *Pseudomonas aeruginosa* and *Bacillus subtilis* in three vegetables. *Brazilian Journal of Microbiology*, vol. 39, n. 3, p. 423-426. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822008000300003>
- Aravind, R.; Eapen, S.J.; Kumar, A.; Dinu, A. & Ramana, K.V. (2010) - Screening of endophytic bacteria and evaluation of selected isolates for suppression of burrowing nematode (*Radopholus similis* Thorne) using three varieties of black pepper (*Piper nigrum* L.). *Crop Protection*, vol. 29, n. 4, p. 318-324. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2009.12.005>
- Araújo, F.F. & Marchesi, G.V.P. (2009) - Uso de *Bacillus subtilis* no controle da meloidoginose e na promoção de crescimento do tomateiro. *Ciência Rural*, vol. 39, n. 5, p. 1558-1561. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009000500039>

- Araújo, A.S.F.D.; Carneiro, R.F.V.; Bezerra, A.A.C. & Araújo, F.F.D. (2010) - Coinoculação rizóbio e *Bacillus subtilis* em feijão-caupi e leucena: efeito sobre a nodulação, a fixação de N₂ e o crescimento das plantas. *Ciência Rural*, vol. 40, n. 1, p. 182-185. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000249>
- Araújo, F.F.; Bragante, R.J. & Bragante, C.E. (2012) - Controle genético, químico e biológico de meloidoginose na cultura da soja. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, vol. 42, n. 2, p. 220-224. <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-40632012000200013>
- Bergey, D.H. & Gibbons, N.E. (1974) - *Bergey's manual of determinative bacteriology*. 8ª ed. Baltimore: Williams & Wilkins Co., 1268 p.
- Braga Junior, G.M.; Colonia, B.S.O.; Chagas, L.F.B.; Scheidt, G.N.; Miller, L.O. & Chagas Junior, A.F. (2017) - Soybean growth promotion and phosphate solubilization by *Bacillus subtilis* strains in greenhouse. *International Journal of Current Research*, vol. 9, n. 5, p. 50914-50918.
- Braga Junior, G.M.; Chagas, L.F.B.; Amaral, L.R.O.; Miller, L.O. & Chagas Junior, A.F. (2018) - Efficiency of inoculation by *Bacillus subtilis* on soybean biomass and productivity. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, vol. 13, n. 4, art. e5571. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v13i4a5571>
- Calvo, P.; Ormeño-Orrillo, E.; Martínez-Romero, E. & Zúñiga, D. (2010) - Characterization of *Bacillus* isolates of potato rhizosphere from Andean soils of Peru and their potential PGPR characteristics. *Brazilian Journal of Microbiology*, vol. 41, n. 4, p. 899-906. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822010000400008>
- Carrer-Filho, R.; Dianese, E.C. & Cunha, M.G. (2015) - Supressão da murcha de fusário em tomateiro por rizobactérias do gênero *Bacillus*. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, vol. 45, n. 3, p. 356-363. <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v45i35397>
- Chung, S.; Kong, H.; Buyer, J.S.; Lakshman, D.K.; Lydon, J.; Kim, S.D. & Roberts, D.P. (2008) - Isolation and partial characterization of *Bacillus subtilis* ME488 for suppression of soil born e pathogens of cucumber and pepper. *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 80, p. 115-123. <https://doi.org/10.1007/s00253-008-1520-4>
- CONAB (2018) - *Prévia: Perspectivas para a Agropecuária Volume 6, safra 2018/2019*. Companhia Nacional de Abastecimento, Brasília. [cit. 2021.01.21]. <https://www.conab.gov.br/perspectivas-para-a-agropecuaria>.
- Ferreira, N.C.; Mazuchelli, R.C.L.; Pacheco, A.C.; Araújo, F.F.; Antunes, J.E.L. & Araújo, A.S.F. (2018) - *Bacillus subtilis* improves maize tolerance to salinity. *Ciência Rural*, vol. 48, n. 8, p. 1-4. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170910>
- Government of Canada (2018) - *Bacillus megaterium – information sheet*. [cit. 2019-11-18]. <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/chemical-substances/fact-sheets/chemicals-glance/bacillus-megaterium.html>.
- Gagné-Bourque, F.; Mayer, B.F.; Charron, J.; Vali, H.; Bertrand, A. & Jabaji, S. (2015) - Accelerated growth rate and increased drought stress resilience of the model grass *Brachypodium distachyon* colonized by *Bacillus subtilis* B26. *Plos One*, vol. 10, n. 6, art. e0130456. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130456>
- Harthmann, O.E.L.; Mógor, A.F.; Wordell Filho, J.A. & Da Luz, W.C. (2010) - Rizobactérias no crescimento e na produtividade da cebola. *Ciência Rural*, vol. 40, n. 2, p. 462-465. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009005000256>
- Hu, X.; Xie, L.; Yu, C.; Li, Y.; Zhang, S. & Xing, L. (2013) - *Bacillus megaterium* A6 suppresses *Sclerotinia sclerotiorum* on oil seed rape in the field and promote soil seed rape growth. *Crop Protection*, vol. 52, p. 151-158. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.05.018>
- Lanna-Filho, R.; Ferro, H.M. & Pinho, R.S.C. de (2010) - Controle biológico mediado por *Bacillus subtilis*. *Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas*, vol. 4, n. 2, p. 12-20. <http://dx.doi.org/10.0000/rtcab.v4i2.145>
- Li, C.; Hu, W.; Pan, B.; Liu, Y.; Yuan, S.; Ding, Y.; Li, R.; Zheng, X.; Shen, B. & Shen, Q. (2017) - Rhizobacterium *Bacillus amyloliquefaciens* Strain SQRT3-Mediated Induced Systemic Resistance Controls Bacterial Wilt of Tomato. *Pedosphere*, vol. 27, n. 6, p. 1135-1146. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60406-5](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60406-5)
- Lima, F.F. (2010) - *Bacillus subtilis* e níveis de nitrogênio sobre o desenvolvimento e a produtividade do milho. Dissertação de Mestrado. Teresina, Universidade Federal do Piauí. 52 p.
- Lima, U.A.; Aquarone, E.; Borzani, W. & Schmidell, W. (2019) - *Biotecnologia Industrial – processos fermentativos e enzimáticos*, vol. 3. Editora Blucher, 616 p.
- Marulanda, A.; Barea, J.-M. & Azcón, R. (2009) - Stimulation of Plant Growth and Drought Tolerance by Native Microorganisms (AM Fungi and Bacteria) from Dry Environments: Mechanisms Related to Bacterial Effectiveness. *Journal of Plant Growth Regulation*, vol. 28, n. 2, p. 115-124. <https://doi.org/10.1007/s00344-009-9079-6>

- Marulanda, A.; Azcón, R.; Chaumont, F.; Ruiz-Lozano, J.M. & Aroca, R. (2010) -Regulation of plasma membrane aquaporins by inoculation with a *Bacillus megaterium* strain in maize (*Zea mays* L.) plants under unstressed and salt-stressed conditions. *Planta*, vol. 232, p. 533-543. <https://doi.org/10.1007/s00425-010-1196-8>
- Mazzucchelli, R.C.L. & Araújo, F.F. (2011) - Eficácia do controle de nematóides por *Bacillus subtilis* em duas variedades de cana-de-açúcar. *Colloquium Agrariae*, vol. 7, p. 51-58.
- Melo, I. S. de (2015) - Rizobactérias promotoras de crescimento de plantas: descrição e potencial de uso na agricultura. In: Melo, I.S. de & Azevedo, J.L. de (Eds.) - *Ecologia microbiana*. Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente, p. 87-116.
- Nascente, A.S.; Filippi, M.C.C.; Lanna, A.C.; Souza, A.C.A.; Lobo, V.L.S. & Silva, G.B. (2017) - Biomass, gas exchange, and nutrient contents in upland rice plants affected by application forms of microorganism growth promoters. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 24, n. 3, p. 2956-2965. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8013-2>
- Nascente, A.S.; Filippi, M.C.C. & Lanna, A.C. (2020) - Macronutrient rates and multifunctional microorganisms in a tropical flooded rice crop. *Revista Caatinga*, vol. 33, n. 4, p. 898-907. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252020v33n404rc>
- NCBI (2017) - *National Center for Biotechnology Information*. U.S. National Library of Medicine 8600 Rockville Pike, Bethesda MD, 20894 USA. [cit. 2021.01.21]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>
- Padgham, J.L. & Sikora, R.A. (2007) - Biological control potential and modes of action of *Bacillus megaterium* against *Meloidogyne graminicola* on rice. *Crop Protection*, vol. 26, n. 7, p. 971-977. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2006.09.004>
- Park, Y.G.; Mun, B.G.; Kang, S.M.; Hussain, A.; Shahzad, R.; Seo, C.W.; Kim, A.Y.; Lee, S.U.; Oh, K.Y.; Lee, D.Y.; Lee, I.J. & Yun, B.W. (2017) - *Bacillus aryabhatai* SRB02 tolerates oxidative and nitrosative stress and promotes the growth of soybean by modulating the production of phytohormones. *PLoS ONE*, vol. 12, n. 3, art. e0173203. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173203>.
- Raasch, L.D.; Bonaldo, S.M. & Oliveira, A.A.F. de (2013) - *Bacillus subtilis*: enraizamento e crescimento de mini estacas de eucalipto em Sinop, norte de Mato Grosso, Brasil. *Bioscience Journal*, vol. 29, n. 1, p. 1446-1457.
- Subramanian, P.; Kim, K.; Krishnamoorthy, R. & Sundaram, S. & Sa, T. (2014) – Endophytic bacteria improve nodule function and plant nitrogen in soybean on co-inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* MN110. *Plant Growth Regulation*, vol. 76, n. 3, p. 327-332. <http://dx.doi.org/10.1007/s10725-014-9993-x>