

Níveis de Fósforo e Inoculação de Sementes por *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) e *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) no Crescimento e Desenvolvimento de Plantas de Soja

Phosphorus Levels and Seed Inoculation by *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) and *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) in the Growth and Development of Soybean Plants

Jéssica Giovelli^{*a}; Luciane Almeri Tabaldi^a

^aUniversidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Departamento de Biologia, RS, Brasil.

*E-mail: jegiovelli@gmail.com

Resumo

O fósforo (P) é um elemento fundamental no metabolismo das plantas, limitante para produção agrícola em solos tropicais. Rizobactérias promotoras de crescimento têm sido utilizadas para formulações de inoculantes como uma alternativa para redução/substituição do uso de fertilizantes minerais. O objetivo do trabalho foi avaliar a inoculação de sementes de soja com *Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis*. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal de Santa Maria-RS. O esquema estatístico foi em fatorial 5 (níveis de P) x 2 (com e sem inoculante) x 2 (Latossolo e Argissolo). O delineamento foi inteiramente casualizado com 4 repetições. Foram avaliadas as seguintes variáveis: massa seca de raiz e parte aérea, área foliar, teor de P nos tecidos e parâmetros morfológicos do sistema radicular como comprimento total, área superficial, volume e diâmetro de raízes em R2. Ao final do ciclo (R8) foram avaliados o número e massa de grãos produzidos em cada planta, e peso de mil grãos. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey ($p \leq 0,05$) para comparação das médias de tratamentos qualitativos e análise de regressão para tratamentos quantitativos. Verificou-se pelos resultados que: os parâmetros fisiológicos, morfológicos e de produtividade das plantas foram influenciados positivamente pelo aumento dos níveis de P, sendo tal resposta influenciada pelo tipo de solo, e a inoculação com *B. megaterium* e *B. subtilis* não interferiu no crescimento e desenvolvimento das plantas de soja.

Palavras-chave: Solubilização de Fósforo. Bactérias Solubilizadoras de Fósforo. Microrganismos Inoculantes. *Glycine max*.

Abstract

Phosphorus (P) is a fundamental element in plant metabolism and a limiting nutrient for agricultural production in tropical soils. Growth-promoting rhizobacteria have been used for inoculant formulations as an alternative to reduce/replace the use of mineral fertilizers. The aim of the study was to evaluate whether inoculation of seeds with *Bacillus megaterium* and *Bacillus subtilis* positively affects the growth and development of soybean plants. The experiment was carried out in a greenhouse at the Federal University of Santa Maria, RS. The treatments consisted of a factorial 5 (P levels) x 2 (with and without inoculant) x 2 (Oxisol and Ultisol). A completely randomized design with 4 replications was used. The following variables were evaluated: root and shoot dry mass, leaf area, tissue P content and morphological parameters of the root system as total length, surface area, volume and root diameter in R2. At the end of the cycle (R8) the number and mass of grains produced in each plant and the weight of a thousand grains were evaluated. Data were submitted to analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test ($p \leq 0.05$) to compare means of qualitative treatments and regression analysis for quantitative treatments. The results indicated that: the physiological, morphological and productivity parameters of the plants were positively influenced by the increase in P levels, such response being influenced by the type of soil, and inoculation with *B. megaterium* and *B. subtilis* did not interfere with growth and development of soybean plants.

Keywords: Phosphorus Solubilization. Phosphorus Solubilizing Bacteria. Inoculating microorganisms. *Glycine Max*.

1 Introdução

A soja é uma das culturas de maior importância econômica no mundo e seu consumo cresce a cada ano. No Brasil, a expansão do cultivo tem aumentado constantemente a demanda por fertilizantes e em particular, pelo fósforo (P). O P é considerado um nutriente de baixo aproveitamento, visto que do total de P aplicado via fertilizantes, grande parte fica retido no solo. Isso se deve a grande estabilidade dos fosfatos na fase sólida do solo, decorrente da formação de compostos que se ligam com alta energia aos colóides, especialmente aos óxidos de ferro e alumínio, constituintes da fração de argila, que mais adsorvem P (LEITE, 2015). Isso, aliado a

baixa disponibilidade natural de P em solos tropicais, acaba levando a uma carência do nutriente nestes solos e tornando indispensável à utilização de fertilizantes para a adequada nutrição e obtenção de níveis satisfatórios de produtividade das culturas (SILVA *et al.*, 2017).

Uma possível forma de reduzir esse problema é a utilização de microrganismos capazes de disponibilizar o P adsorvido no solo. Esses microrganismos utilizam diferentes mecanismos para transformar formas pouco solúveis de fosfato em formas solúveis. Entre os gêneros bacterianos com essa capacidade destacam-se os *Bacillus* (*B. subtilis*, *B. cereus*, *B. thuringiensis*, *B. pumilus*, *B. megaterium*, etc.)

que desenvolveram diferentes mecanismos para melhorar o crescimento das plantas, aumentando a disponibilidade do nutriente (MEENA *et al.*, 2016). O principal mecanismo responsável por essa atividade é a secreção de diversos tipos de ácidos e enzimas como fosfatases e fitases que ajudam a converter o fosfato insolúvel em forma solúvel que podem ser absorvidas pelas raízes das plantas. A produção de ácidos orgânicos resulta na diminuição do pH e como agentes quelantes dos elementos acompanhantes do íon fosfato tais como Ca^{2+} , Al^{3+} e Fe (KALAYU, 2019).

Diversos autores relatam a contribuição de bactérias, principalmente do gênero *Bacillus*, na promoção de crescimento das plantas e melhoria na nutrição fosfatada (ARAÚJO, 2008; TAVANTI *et al.*, 2020). Entretanto, existem cerca de 360 espécies de *Bacillus* e nem todas as espécies possuem as mesmas características, sendo as espécies fenotipicamente e genotipicamente heterogêneas (SLEPECKY; HEMPHILL, 2006). Consequentemente, exibindo propriedades fisiológicas bastante diversas, como a capacidade de degradar muitos substratos diferentes derivados de fontes vegetais e animais.

Neste sentido, torna-se importante a realização de trabalhos que avaliem a capacidade desses microrganismos em disponibilizar P do solo como alternativas mais sustentáveis na utilização do nutriente. O objetivo do trabalho foi avaliar o potencial de microrganismos do gênero *Bacillus* na solubilização de fosfatos, como forma de disponibilizar fósforo para a cultura da soja.

2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal de Santa Maria, RS. Os tratamentos foram arrançados em esquema fatorial $5 \times 2 \times 2$, constituídos por 5 níveis de P (0%, 25%, 50%, 75% e 100% da dose recomendada, correspondendo a 103 kg/ha de P_2O_5 para Latossolo e 93 kg/ha de P_2O_5 para Argissolo), 2 tipos de solo (Latossolo Vermelho Distroférico típico com textura argila siltosa e um Argissolo Vermelho Distrófico Arênico com textura franco-arenoso) e 2 níveis de inoculação com bactérias solubilizadoras de fósforo (com inoculante e sem inoculante). O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com 4 repetições.

Os solos com texturas diferentes, utilizados como tratamentos foram coletados de lavouras comerciais da região noroeste e da região da depressão central do estado do Rio Grande do Sul, que de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2018), constituem um Latossolo e um Argissolo, respectivamente.

Foram realizadas análises químicas e físicas dos solos as quais foram utilizadas como base na interpretação da adubação e correção de pH dos solos. A análise física do Latossolo correspondeu a 11,7% areia, 42,9% silte e 45,4% argila; enquanto o Argissolo apresentou 68,2% areia, 22,9% silte e 8,8% argila. Já o teor de P dos solos obtido através do

método Mehlich-1 foi de 4,2 mg/dm³ para o Latossolo e 18,4 mg/dm³ para o Argissolo.

A adubação com P foi calculada considerando-se uma expectativa de produtividade de grãos de soja de 4200 kg/ha com base nas recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2004a). A partir disso, foram estabelecidos os tratamentos com os diferentes níveis de P (0%, 25%, 50%, 75% e 100% da dose recomendada). Os níveis corresponderam a aplicação de 0, 12,8, 25,6, 38,5 e 51,3 mg.dm⁻³ de P_2O_5 , respectivamente. Foi utilizado superfosfato triplo (46% de P e 10% de Ca) como fonte de P.

Para os tratamentos com aplicação das bactérias solubilizadoras de fósforo (BSP) utilizou-se nas sementes de soja o inoculante comercial BiomaPhos[®] que contém cepas de *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) e *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084). A inoculação foi realizada a sombra imediatamente antes da semeadura.

Antes da semeadura realizou-se também a inoculação das sementes de soja com *Bradyrhizobium* em todos os tratamentos do ensaio para garantir o processo natural de fixação biológica de nitrogênio (FBN) (CQFS-RS/SC, 2004b). Além disso, a adubação com potássio (K) foi a mesma em todos os tratamentos através da aplicação de KCl ao solo na dose de 50 mg.dm⁻³ de K_2O (166,7 kg/ha de KCl). Tanto o superfosfato triplo quanto o KCl foram aplicados ao solo em sulcos de 8 cm de profundidade, imediatamente antes da semeadura.

O método gravimétrico direto foi adotado para a determinação da capacidade de retenção de água (CRA) de cada tipo de solo. Para isso, os solos foram secos em estufa (70 °C) até peso constante, e sequencialmente saturados com água e submetidos à drenagem por um período de 48 h tendo a superfície coberta para evitar a evaporação, e então novamente à pesagem dos vasos foi realizada (CASAROLI; VAN LIER, 2008). Assim, por diferença de peso obteve-se a capacidade de retenção de água de cada tipo de solo. Foram realizadas irrigações diárias visando manter o solo a cerca de 70% da capacidade de retenção de água, sendo o controle realizado através da pesagem dos vasos.

Quando as plantas atingiram o estágio fenológico R2 foram avaliadas as variáveis: massa seca de raiz e parte aérea, área foliar, teor de P nos tecidos e parâmetros morfológicos do sistema radicular em R2. Ao final do ciclo (R8) foram avaliados o número e massa de grãos produzidos por planta, e peso de mil grãos.

Para avaliação dos parâmetros do sistema radicular, inicialmente as raízes foram separadas de parte aérea, lavadas em água corrente, e envolvidas em papel germitest umedecido, sendo posteriormente armazenadas em freezer a temperatura de -20 °C. Posteriormente procedeu-se a mensuração de comprimento, volume, área superficial e diâmetro de raiz através do software WinRhizo Pro[®] (2013),

acoplado ao scanner EPSON Expression 11000. Já para a quantificação da área foliar as folhas da parte aérea das plantas foram distribuídas sobre pano azul com escala milimétrica e fotografadas com câmera digital. As imagens foram tratadas com ajuste de cor e contraste e submetidas para leitura no programa QUANT v 1.0.2 (VALE; FERNANDES FILHO; LIBERATO, 2003).

Tanto raiz como parte aérea posteriormente foram ainda utilizadas para a determinação de massa seca e sequencialmente teor de P nos tecidos. Para isso as amostras foram submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até atingirem massa constante e então foram pesadas em balança analítica. Já para determinação de P nos tecidos a massa seca foi moída, preparada e submetida à análise do elemento, segundo metodologia proposta por Tedesco, Gianello e Biassani (1995).

Ao final do ciclo, em estágio R8, foi realizada a avaliação de produtividade. As vagens foram colhidas e debulhadas

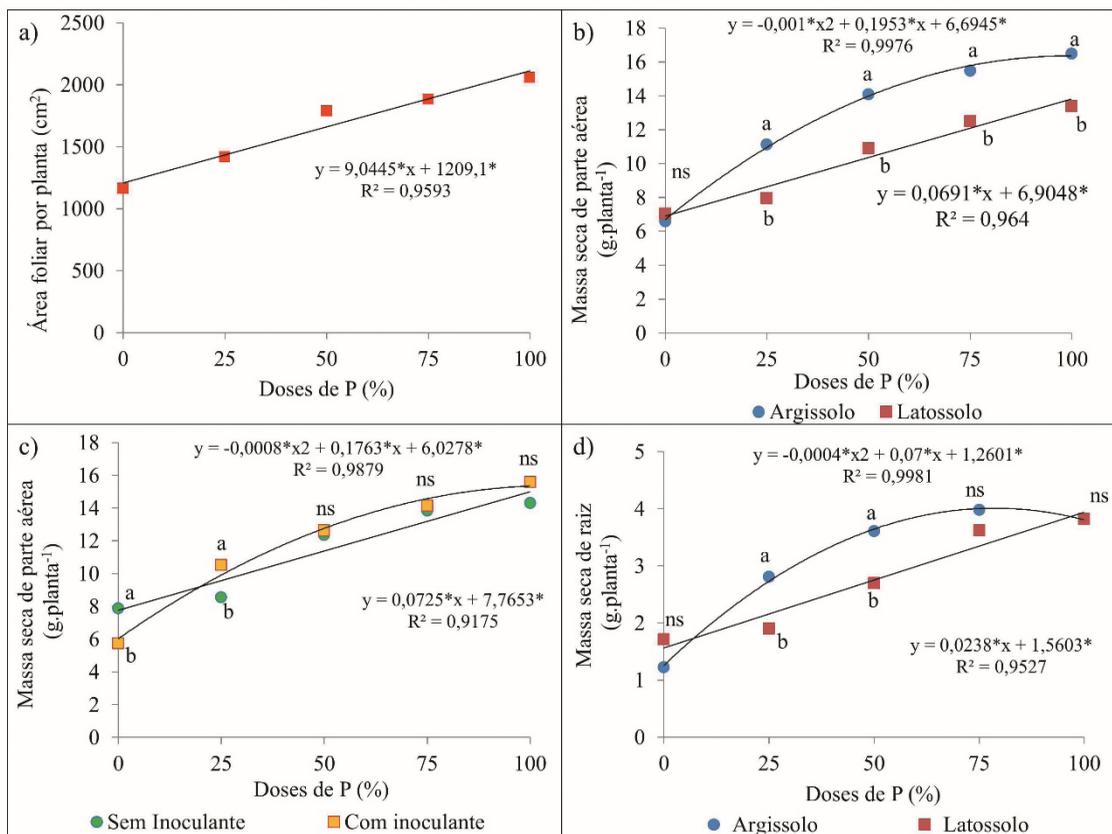
manualmente para a determinação do número e massa de grãos por planta, e também a massa de mil grãos.

Os dados do experimento foram analisados para a homocedasticidade e normalidade dos resíduos e quando os pressupostos foram atendidos, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste F. As médias dos tratamentos qualitativos foram comparadas pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$) e as médias dos tratamentos quantitativos foram submetidas a análise de regressão usando o software R Studio utilizando o R versão 4.1.0- 2021.

3 Resultados e Discussão

A análise de variância demonstrou não haver interação significativa entre os fatores tipos de solo, inoculante e níveis de P para a variável área foliar (AF). A adubação fosfatada teve comportamento crescente linear da AF das plantas, sendo 77,2% maior na dose total recomendada do nutriente (100% de P) em relação ao nível de 0% (Figura 1a).

Figura 1 - Área foliar (AF) (a), massa seca de parte aérea (MSPA) (b, c) e massa seca de raiz (MSR) (d) de plantas de soja em função da interação entre níveis de P e tipos de solos (a, b, d) e interação entre níveis de P e fator inoculante (c). Santa Maria/RS, 2022



Médias seguidas por mesma letra dentro de cada dose de P não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); *significativo a 5%; ns não significativo; C.V: 17,5% (a), 16,88% (b e c), 20,06% (d).

Fonte: Dados da pesquisa.

Os menores valores de fósforo na adubação foi o fator que interferiu no crescimento vegetativo das plantas, que tiveram menor crescimento vegetal em função da menor área de superfície de incorporação do CO₂. Os menores níveis de P na adubação interferiram diretamente no crescimento vegetativo, resultando em menor área foliar das plantas cultivadas nesses

tratamentos. O baixo suprimento de P afeta negativamente o número e tamanho das folhas, e conseqüentemente, reduz a área foliar necessária a uma maior captação da radiação fotossinteticamente ativa (RIPLEY; REDFERN; DAMES, 2004) sendo um dos fatores responsáveis pela redução no crescimento vegetal.

As plantas que foram cultivadas em Argissolo apresentaram valores 15% superiores em AF em relação às plantas que foram cultivadas em Latossolo (Quadro 1). Essa diferença de valores possivelmente se deve ao teor e a constituição mineralógica da fração argila de cada solo que assumem papel importante na caracterização deste como dreno ou fonte. Quanto maior for o teor de argila no solo maior sua sorção e menor sua disponibilidade para as plantas (KOME *et al.*, 2019) o que explica os menores valores de AF registrados nas plantas cultivadas em Latossolo. Não houve efeito da inoculação sobre a área foliar das plantas de soja (Quadro 2).

Quadro 2 - Área foliar (AF), massa seca de raiz (MSR), comprimento de raiz (CR), área de raiz (AR), volume de raiz (VR) e diâmetro de raiz (DR) de plantas soja em função do fator inoculante. Santa Maria/RS, 2022

Tratamento	AF	MSR	CR	AR	VR	DR
	(cm ² .planta ⁻¹)	(g.planta ⁻¹)	(cm.planta ⁻¹)	(cm ² .planta ⁻¹)	(cm ³ .planta ⁻¹)	(mm)
Sem Inoculante	1666,9 ns	2,934 ns	19024,8 ns	2646,8 ns	29,5 ns	4,18 ns
Com Inoculante	1655,8	2,905	19211,7	2689,4	30,1	4,11
C.V. (%)	17,5	20,06	27,08	26,4	26,76	14,44

ns: não significativo.

Fonte: Dados da pesquisa.

Houve incremento nas variáveis massa seca de parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR), pois à medida que se aumenta a área foliar, maior é o acúmulo de fotoassimilados e maior será a massa seca da planta (Figura 1b, 1c e 1d). Já os menores níveis do nutriente promoveram a redução do crescimento das plantas como verificado na avaliação de AF, refletindo negativamente também na produção de matéria seca tanto de parte aérea como de raiz. O baixo P normalmente reduz a taxa de expansão foliar, o principal determinante da área foliar total, devido à diminuição da taxa de produção e comprimento final da célula. Essa diminuição da área foliar, por sua vez, reduz a produção de matéria seca da planta (KAVANOVÁ *et al.*, 2006).

Houve interação entre os níveis de P e inoculante na variável MSPA, não havendo efeito significativo do fator inoculante para a variável MSR (Quadro 2). No desdobramento da interação, foi observado que apenas nos primeiros níveis fosfatados houve diferença significativa entre os tratamentos com e sem inoculante, sendo que no nível 0% é observado maior valor de MSPA na ausência de inoculante e no nível 25% o inverso, ou seja, maior valor da variável na presença do mesmo (Figura 1c).

Nas análises de tecidos foliares verificou-se que ocorreram variações nos teores de P nas raízes das plantas em função do tipo de solo. As plantas cultivadas nos tratamentos com o Latossolo foram as que apresentaram quantidades menores de P nos tecidos (Figura 2d). Como já discutido anteriormente, em solos que apresentam maior teor de argila, ou seja, maior poder-tampão, ocorre retenção do P com maior facilidade, dificultando a absorção do nutriente pelas plantas e contribuindo assim para que sejam menores os teores de P das plantas cultivadas neste solo (MACHADO; SOUZA, 2012).

A tendência de queda nos teores de P foliar com o aumento

Quadro 1 - Área foliar (AF), diâmetro de raiz (DR), número de grãos (NGP) e produção de grãos (PG) por planta de soja em função dos tipos de solos. Santa Maria/RS, 2022

Tratamento	AF	DR	NGP	PG
	(cm ² .planta ⁻¹)	(mm)	(grãos.planta ⁻¹)	(g.planta ⁻¹)
Latossolo	1544,8 b	4,16 ns	158,6 b	27,8 b
Argissolo	1777,9 a	4,13	204,3 a	33,7 a
C.V. (%)	17,5	14,44	11,21	6,01

Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05). ns: não significativo

Fonte: Dados da pesquisa.

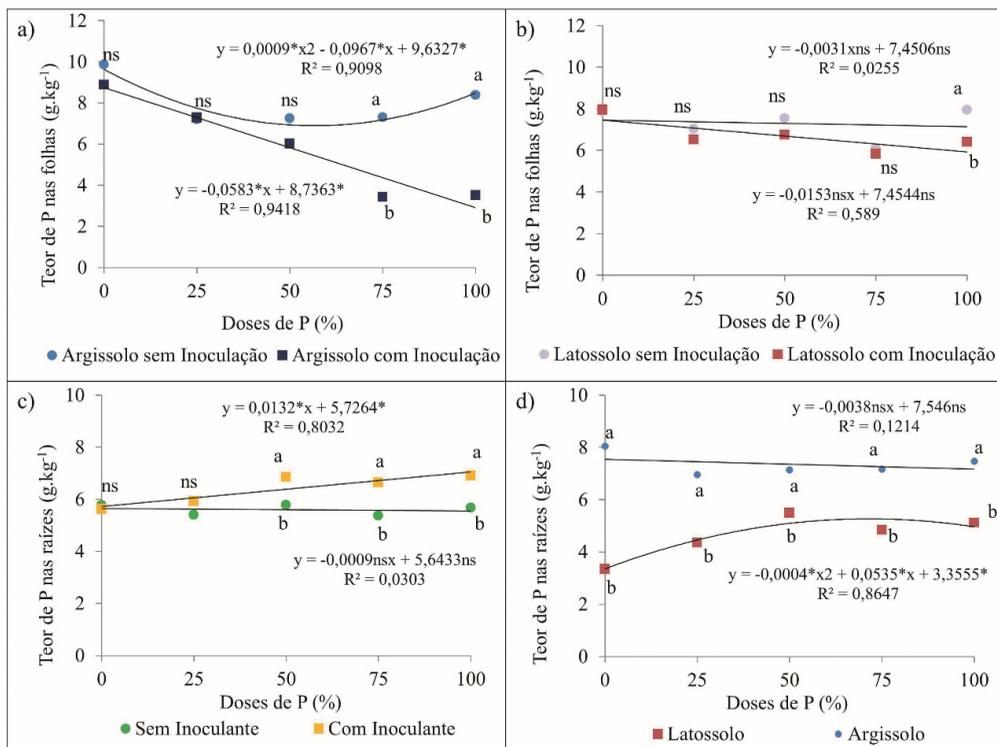
dos níveis de P aplicados ao solo, observado para o Argissolo em ambos os tratamentos (Figura 2a), pode estar relacionada com o aumento da biomassa vegetal, já que as plantas cultivadas nos maiores níveis de P neste solo apresentaram valores superiores de massa seca. Tal fato ocorre quando a taxa de crescimento relativo de matéria seca é superior à taxa de absorção relativa do nutriente, ou seja, com o aumento da biomassa vegetal há diminuição da concentração foliar de P, caracterizando um efeito de diluição dos nutrientes nos tecidos (JARREL; BEVERLY, 1981).

Todavia, nos tratamentos de cultivo em Latossolo, independentemente da presença ou não de inoculante, os teores de P no tecido foliar praticamente não foram influenciados pelos níveis de P aplicados (Figura 2b). Com base em Kurihara *et al.* (2013), todos os tratamentos, até mesmo o nível de 0% de P, encontraram-se com teores de P nos tecidos considerado alto para um bom desenvolvimento de plantas de soja, o que justifica a falta de resposta das plantas.

Na raiz, o teor de P foi influenciado positivamente pelos níveis crescentes de P nos tratamentos com inoculação (Figura 2c), assim como também foi influenciado pelos níveis de P nos tratamentos no Latossolo (Figura 2d). No entanto, esse aumento nos teores de P não refletiram sobre nenhum parâmetro de crescimento e desenvolvimento das plantas avaliadas neste estudo.

Plantas eficientes podem responder com o aumento do sistema radicular em ambientes de baixo nível de P para melhor explorar o solo em busca do nutriente (ZHOU *et al.*, 2016). Neste trabalho, houve incremento de todos os parâmetros morfológicos de raiz avaliados conforme o acréscimo dos níveis fosfatados (Figura 3a, 3b, 3c e 3d).

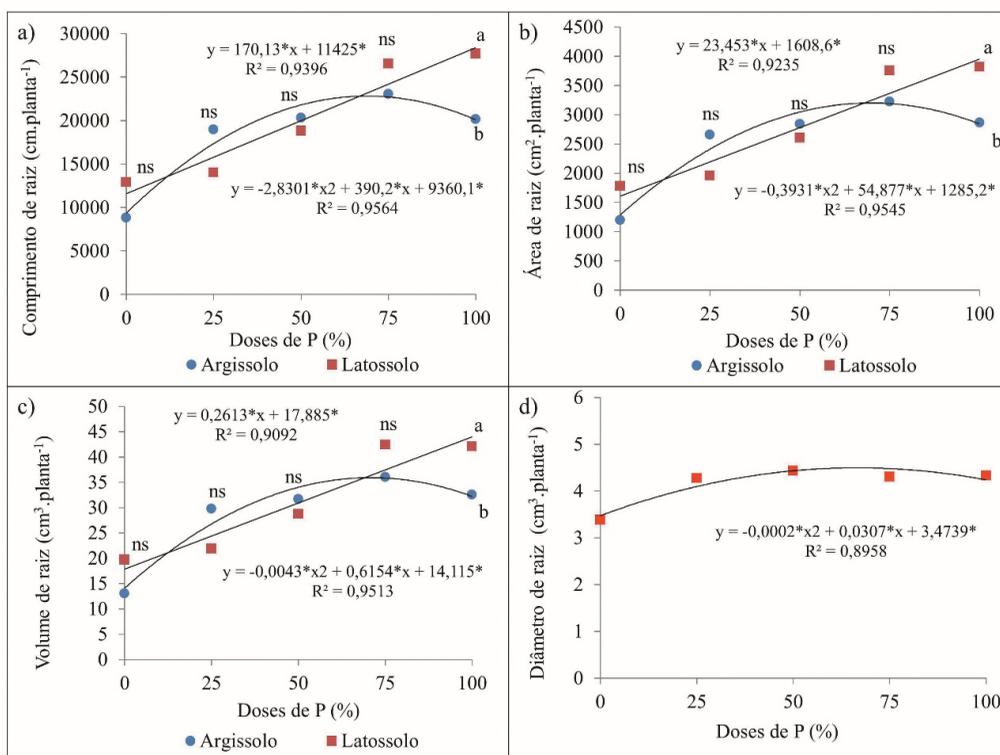
Figura 2 - Teor de P nas folhas de plantas de soja em função da interação entre níveis de P, tipos de solos e fator inoculante (a e b), e teor de P nas raízes de plantas de soja em função da interação de níveis de P e fator inoculante (c) e da interação de níveis de P e tipos de solo (d). Santa Maria/RS, 2022



Médias seguidas por mesma letra dentro de cada dose de P não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); *significativo a 5%; e ns não significativo; C.V: 15,56 % (a e b) e 12,79 % (c e d).

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 3 - Comprimento (a), área (b), volume (c) e diâmetro (d) de raiz de planta de soja em função de níveis de P (d) e da interação entre níveis de P e tipos de solos (a, b, c). Santa Maria/RS, 2022



Médias seguidas por mesma letra dentro de cada dose de P não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); *significativo a 5%; e ns não significativo; C.V: 27,08% (a), 26,4% (b), 26,76% (c), e 14,44% (d).

Fonte: Dados da pesquisa

Nas variáveis que tiveram interação significativa com o fator solo, verificou-se diferença nas características avaliadas do sistema radicular entre as plantas cultivadas, em cada tipo de solo somente no maior nível de adubação fosfatada (Figura 3a, 3b e 3c). Maiores valores foram observados para o Latossolo, sugerindo novamente a influência do solo na resposta das plantas.

A eficiência da adubação fosfatada caracteriza uma resposta diferente para cada tipo de solo, tornando-se geralmente mais baixa em solos com altos teores de argila como o Latossolo (ROLIM NETO *et al.*, 2004). Assim, apesar dos dois solos responderem positivamente aos níveis fosfatados, o Argissolo atingiu o ápice de resposta para as variáveis das plantas antes do nível de 100%, enquanto que o Latossolo continuou respondendo linearmente até o último nível de P, reforçando a necessidade de quantidades mais elevadas do nutriente para atingir o máximo desenvolvimento das plantas. Vieira (2021) avaliando a eficiência agrônômica de fontes e doses de P na soja cultivada em dois solos, Neossolo Quartzarênico distrófico (RQd) com textura arenosa e Latossolo Vermelho Amarelo eutrófico (LPVAe) com textura argilosa constatou com base nos componentes de produção que em solos com maior teor de argila são necessárias maiores doses de P do que em solos arenosos, mesmo utilizando fosfatos mais solúveis,

devido a maior fixação de P neste solo. Todavia, o diâmetro de raiz não foi influenciado pelo tipo de solo (Tabela 1). Além disso, também não foi encontrado efeito significativo do inoculante para nenhum dos parâmetros morfológicos do sistema radicular avaliados (Quadro 2).

Não foram observados efeitos significativos do inoculante sobre o número de grãos por planta (NGP), peso de mil grãos (PMG) e produtividade de grãos (PG) (Quadro 3). A adubação fosfatada crescente resultou em aumento da produtividade de grãos (PG), onde no nível de 100%, a varável foi 23,7% superior ao tratamento sem adição de P (Figura 4a). Comportamento semelhante foi verificado para o número de grão por planta (NPG) (Figura 4b).

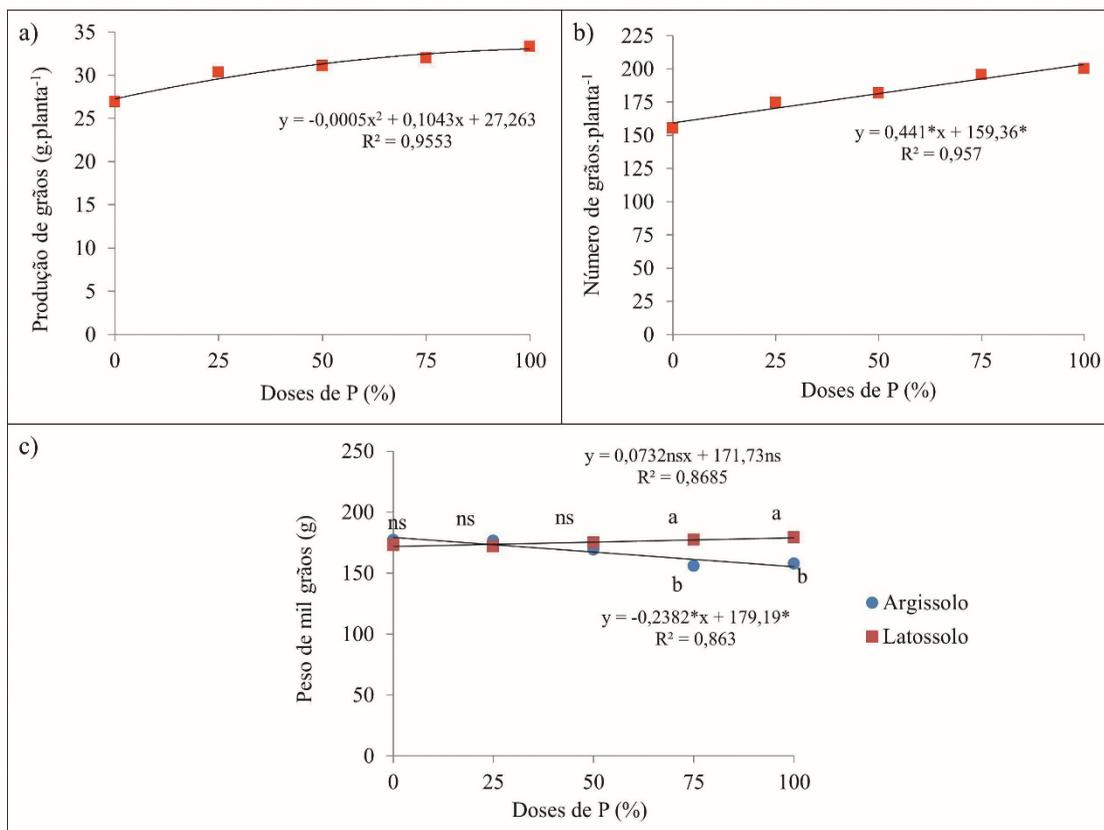
Quadro 3 - Número de grãos por planta (NGP), produção de grãos por planta (PG) e peso de mil grãos (PMG) de soja em função do fator inoculante. Santa Maria/RS, 2022

Tratamento	NGP	PG	PMG
	(grãos.planta ⁻¹)	(g.planta ⁻¹)	(g)
Sem Inoculante	183,8 ns	30,9 ns	169,8 ns
Com Inoculante	179,1	30,6	172,8
C.V. (%)	11,21	6,01	6,82

ns: não significativo.

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 4 - Produção de grãos por planta (PG) (a), número de grãos (NGP), (b) peso de mil grãos (PMG) (c) por planta de soja em função de níveis de P (a e b) e da interação de níveis de P e tipos de solos (c). Santa Maria/RS, 2022



Médias seguidas por mesma letra dentro de cada dose de P não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); *significativo a 5%; e ns não significativo; C.V.: 6,01% (a), 11,21% (b), 6,82% (c).

Fonte: Dados da pesquisa.

Comparando-se os tipos de solo, as variáveis PG e NGP apresentaram valores estatisticamente superiores nos tratamentos com Argissolo (Tabela 1). Isso sugere mais uma vez que a resposta das plantas a adubação fosfatada foi influenciada pelos atributos dos solos, principalmente pelo poder tampão do Latossolo ocasionado por suas características químicas e físicas. Não houve efeito significativo do fator inoculante para o peso de mil sementes (PMG) (Tabela 3), foi verificada interação significativa para os fatores níveis de P e tipos de solo (Figura 4c). Observou-se uma queda nos valores de PMG para o Argissolo nos maiores níveis de P, a qual pode ser atribuída a maior ocorrência de chochamento de grãos. Nestes tratamentos foi observado o desenvolvimento de um número elevado de grãos por planta, entretanto, não houve produção de fotoassimilados suficiente para o enchimento total dos mesmos.

Nas condições em que foi realizado este ensaio, o produto à base de *Bacillus* para a cultura da soja não apresentou efeito. Rengel e Marschner (2005) e Gyaneshwar *et al.* (2002) discorrem que a inoculação com solubilizadores de P é dificultada por vários fatores que podem diminuir a eficiência dos microrganismos introduzidos: as cepas introduzidas podem ter uma baixa sobrevivência na rizosfera por causa da competitividade contra as indígenas, cepas bem adaptadas; devido a natureza e propriedades dos solos; a falta de associações específicas entre microrganismos solubilizadores de P e a planta hospedeira; os microrganismos são selecionados com base em sua solubilização de P *in vitro* em condições ideais para o crescimento e solubilização, enquanto as condições na rizosfera podem estar longe de serem ideais e o P solubilizado pelos microrganismos pode não estar disponível para as plantas porque os próprios microrganismos o absorvem, fazendo com que a quantidade de P liberada por eles seja insuficiente para um aumento substancial do crescimento vegetal.

É importante enfatizar que as cepas que integram o inoculante utilizado neste ensaio (B2084) e (B119) são provenientes da cultura do milho, embora seu uso já esteja sendo recomendado também para a cultura da soja. *Bacillus subtilis* (B2084) é de origem endofítica habitando o interior dos tecidos, sendo mais especificamente obtida da folha do milho, e *Bacillus megaterium* (B119) é de origem epifítica, ou seja, de microrganismos que colonizam a superfície externa deste vegetal (rizoplano). As cepas utilizadas B2084 e B119 foram testadas em trabalhos *in vitro*, casa de vegetação e a campo, com as culturas de milho e milheto, tendo efeito para estas culturas (ABREU *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2009, 2013, 2020; RIBEIRO *et al.*, 2018, SOUSA *et al.*, 2020).

A falta de compatibilidade entre as cepas utilizadas e a planta hospedeira é dentre os diversos fatores bióticos e abióticos, o elemento que mais pode ter influenciado o resultado já que usualmente quem garante as condições apropriadas para os microrganismos são as plantas liberando exsudatos de suas raízes (BADRI *et al.*, 2013; KRISTIN; MIRANDA,

2013). Bhattacharyya e Jha (2012) verificaram que os efeitos promovidos pela inoculação com microrganismos parecem ser influenciados por sinais específicos entre as cepas bacterianas e cultivares de plantas e é por isso que se faz necessário uma associação entre planta e microrganismo adequada.

Dessa maneira, pode não ter havido uma compatibilidade adequada entre as plantas de soja e as cepas de *Bacillus* utilizadas, sendo tal hipótese sustentada no fato de que tanto *B. megaterium* quanto *B. subtilis* são provenientes de plantas de milho, o que pode ter impossibilitado uma colonização eficaz na rizosfera das plantas de soja. As interações planta-solo-microrganismos são complexas e novas pesquisas são necessárias para uma melhor compreensão da dinâmica das interações para o desenvolvimento de inoculantes utilizados na solubilização de P para a cultura da soja.

4 Conclusão

A inoculação de sementes com *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) e *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) não influencia o crescimento e desenvolvimento das plantas de soja independentemente do tipo de solo utilizado.

Os parâmetros morfológicos e de produtividade das plantas de soja são influenciados com aumento dos níveis de P, sendo que a máxima resposta em crescimento das plantas é atingida no Argissolo na dose de 38,5 mg.dm⁻³.

Referências

- ABREU, C.S. *et al.* Maize endophyticbacteria as mineral phosphate solubilizers. *Gen. Mol. Res.*, v.16, n.1, 2017. doi: 10.4238/gmr16019294
- ARAÚJO, F.F. Inoculação de sementes com *Bacillus subtilis* formulado com farinha de ostras e desenvolvimento de milho, soja e algodão. *Ciênc. Agrotecnol.*, v.32, n.2, p.456-462, 2008. doi: 10.1590/S1413-70542008000200017
- BADRI, D.V. *et al.* Application of natural blends of phytochemicals derived from the root exudates of *arabidopsis* to the soil reveal that phenolic-related compounds predominantly modulate the soil microbiome. *J. Biol. Chem.*, v.288, n.7, p.4502-4512, 2013. doi: 10.1074/jbc.M112.433300
- BHATTACHARYYA, P.N.; JHA, D.K. Rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (PGPR): emergência na agricultura. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, v.28, n.4, 2012. doi: 10.1007/s11274-011-0979-9
- CASAROLI, D.; VAN LIER, Q.J. Critérios para determinação da capacidade de vaso. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.32, p.59-66, 2008.
- CQFS- Comissão de Química e Fertilidade do solo - RS/SC. *Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistema brasileiro de classificação de solos (SiBCS)*. Brasília: Embrapa, 2018.
- GYANESHWAR, P. *et al.* Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. *Plant Soil*, v. 245, p. 83-93, 2002. doi: 10.1023/A:1020663916259
- JARREL, W.M.; BEVERLY, R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. *Adv. Agron.*, v.34, p.197-224, 1981. doi:

10.1016/S0065-2113(08)60887-1

KALAYU, G. Phosphate Solubilizing Microorganisms: Promising Approach as Biofertilizers. *Int. J. Agron.*, 2019. doi: 10.1155/2019/4917256

KAVANOVÁ, M. *et al.* Phosphorus deficiency decreases cell division and elongation in grass leaves. *Plant Physiol.*, v.141, p.766-775, 2006. doi: 10.1104/pp.106.079699

KURIHARA, C.H. *et al.* Faixas de suficiência para teores foliares de nutrientes em algodão e em soja, definidas em função de índices DRIS. *Rev. Ceres.*, v.60, n.3, p.412-419, 2013. doi: 10.1590/S0034-737X2013000300015

KOME, G.K. *et al.* Influence of Clay minerals on some soil fertility attributes: a review. *Open J. Soil Sci.*, v.9, p.155-188, 2019. doi: 0.4236/ojss.2019.99010

KRISTIN, A.; MIRANDA, H. The root microbiota: fingerprint in the soil? *Plant Soil*, v.370, p.671-686, 2013. doi: 10.1007/s11104-013-1647-7

LEITE, J.N.F. *Formas orgânicas e inorgânicas de fósforo no solo em função de plantas de cobertura e de adubação nitrogenada.* Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 2015.

MACHADO, V.J.; SOUZA, C.H.E. Disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico de liberação lenta. *Bioscie. J.*, v.28, n.1, p.1-7, 2012.

MEENA, V.S. *et al.* Can *Bacillus* species enhance nutrient availability in agricultural soils? In: *Bacilli and Agrobiotechnology.* Springer, p.367-395, 2016. doi: 10.1007/978-3-319-44409-3_16

OLIVEIRA, C.A. *et al.* *Metodologia de aplicação de microrganismos solubilizadores de fósforo em sementes visando melhor aproveitamento deste nutriente pelas plantas.* Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013.

OLIVEIRA, C.A. *et al.* Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in an oxisol of the Brazilian Cerrado Biome. *Soil Biol. Biochem.*, v.41, n. 9, p.1782-1787, 2009. doi: 10.1016/j.soilbio.2008.01.012

OLIVEIRA, C.A. *et al.* *Viabilidade Técnica e Econômica do Biomaphos® (Bacillus subtilis CNPMS B2084 e Bacillus megaterium CNPMS B119) nas Culturas de Milho e Soja.* Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2020.

RENGEL, Z.; MARSCHNER, P. Nutrient availability and management in the rhizosphere: exploiting genotypic differences.

New Phytologist, v.168, n.2, p.305-312, 2005. doi: 10.1111/j.1469-8137.2005.01558.x

RIBEIRO, V.P. *et al.* Endophytic *Bacillus* strains enhance pearl millet growth and nutrient uptake under low-P. *Braz. J. Microbiol.*, v.49, p.40-46, 2018. doi: 10.1016/j.bjm.2018.06.005

RIPLEY, B.S.; REDFERN, S.P.; DAMES, J. Quantification of the photosynthetic performance of phosphorus-deficient Sorghum by means of chlorophyll-a fluorescence kinetics. *South Afr. J. Scie.*, v.100, n.11, p.615-618, 2004.

ROLIM NETO, F.C. *et al.* Adsorção de fósforo, superfície específica e atributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do Alto Paranaíba-MG. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.28, p.953-964, 2004. doi:10.1590/S0100-06832004000600003

SILVA, J. T. *Azospirillum brasilense e Bacillus subtilis solubilizadores de fósforo em mudas de eucalipto.* Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, 2017.

SLEPECKY, R.A.; HEMPHILL, H.E. The Genus *Bacillus*: Nonmedical. In: Dworkin M., Falkow S., Rosenberg E., Schleifer KH., Stackebrandt E. *The Prokaryotes*, v.4, p. 530-562, 2006. doi: 10.1007/0-387-30744-3_16

SOUSA, S.M. *et al.* Tropical *Bacillus* strains inoculation enhances maize root surface area, dry weight, nutrient uptake and grain yield. *J. Plant Growth Regulation*, v.1, p.1-11, 2020. doi: 10.1007/s00344-020-10146-9

TAVANTI, T.R. *et al.* Yield and quality of soybean seeds inoculated with *Bacillus subtilis* strains. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb.*, v.24, n.1, p.65-71, 2020. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v24n1p65-71

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BIASSANI, C.A. *Análise de solo, plantas e outros materiais.* Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.

VALE, F.X.R.; FERNANDES FILHO, E.I F.; LIBERATO, J.R. QUANT: a software for plant disease severity assessment. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF PLANT PATHOLOGY, Christchurch New Zealand. p. 105, 2003.

VIEIRA, N.D. *Resposta da soja a fontes e doses de fósforo em solos com diferentes teores de argila.* Londrina: UEL, 2021.

ZHOU, T. *et al.* Genotypic differences in phosphorus efficiency and the performance of physiological characteristics in response to low phosphorus stress of soybean in southwest of China. *Frontiers Plant Scie.*, v.7, p.1776, 2016. doi: 10.3389/fpls.2016.01776