

INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORES DE FOSFATO NO MILHO: REDUZIR OU NÃO A ADUBAÇÃO FOSFATADA? INSIGHT DOS PRIMEIROS ESTÁDIOS VEGETATIVOS

Cayo Divino Rodrigues da Silva¹, João Henrique Silva da Luz², Jakelline Gonçalves de Andrade¹, Hanrara Pires de Oliveira², Aloisio Freitas Chagas Junior³, Susana Cristine Siebenechler³

RESUMO:

O fósforo (P) fornecido pelos fertilizantes minerais solúveis é rapidamente fixado no solo, acumulando em frações menos disponíveis (*legacy P*). As bactérias solubilizadoras de fosfato (BSP) podem acessar o *legacy P*, fornecendo-o para as culturas agrícolas. No entanto, existem muitas incertezas sobre a redução ou não da adubação fosfatada associada a essa tecnologia. Assim, o objetivo foi avaliar a resposta do milho a doses de P e inoculação de bactérias solubilizadoras de P. O ensaio foi conduzido em casa de vegetação, até o estágio V6 do milho. O delineamento foi blocos ao acaso em esquema fatorial 3x2, com seis repetições, com três doses de P (0, 11 e 22 kg ha⁻¹) associado ou não a inoculação com *Bacillus subtilis* (cepa UFT-09). No estágio V6 do milho foi avaliado a biométrica, acúmulo de biomassa da parte aérea e índice de clorofila. Os resultados foram analisados por estatísticas univariadas e multivariadas. O uso de *B. subtilis* promoveu respostas positivas no crescimento inicial do milho. A inoculação com redução da dose (11 kg ha⁻¹) proporcionou incremento na morfologia, e conseqüentemente, resultou em maior produção de matéria seca. Na presença do inoculante e ausência de adubação (0 kg ha⁻¹) o teor de clorofila foi semelhante a 22 kg ha⁻¹. As bactérias solubilizadoras de fosfato contribuem para a redução de doses de adubos fosfatados e promovem agricultura com maior sustentabilidade.

Palavras-chave: *Legacy P*, Inoculantes, Eficiência de P, Promotor de crescimento.

INOCULATION OF PHOSPHATE SOLUBILIZING BACTERIA IN CORN: REDUCE OR NOT PHOSPHATE FERTILIZATION? INSIGHT INTO THE FIRST VEGETATIVE STAGES

ABSTRACT:

Phosphorus (P) supplied by soluble mineral fertilizers is quickly fixed in the soil, accumulating in less available fractions (*legacy P*). Phosphate solubilizing bacteria (BSP) can access *legacy P*, providing it for crops. However, there are many uncertainties about whether or not phosphate fertilization is reduced when associated with this technology. Thus, this work aimed to evaluate corn response to P doses and phosphate-solubilizing bacteria. The experiment was conducted in a greenhouse up to the V6 stage of corn. The design used was randomized blocks in a 3x2 factorial scheme, with six replications, with three doses of P (0, 11, and 22 kg ha⁻¹) associated or not to inoculation with *Bacillus subtilis* (strain UFT-09). In the V6 stage of corn of biometrics, shoot biomass accumulation and chlorophyll index were performed. The results were analyzed with univariate and multivariate statistics. The use of *B. subtilis* promoted positive responses in the initial growth of the corn. The inoculation with a dose reduction (11 kg ha⁻¹) increased morphology, resulting in higher dry matter production. In the presence of the inoculant and absence of fertilization (0 kg ha⁻¹), the

¹Graduando em Agronomia, Universidade Federal do Tocantins – UFT. Gurupi-TO, cayo.silva@mail.uft.edu.br; <https://orcid.org/0000-0002-1198-8785> & jakelline.andrade@mail.uft.edu.br, <https://orcid.org/0000-0002-3470-8395>.

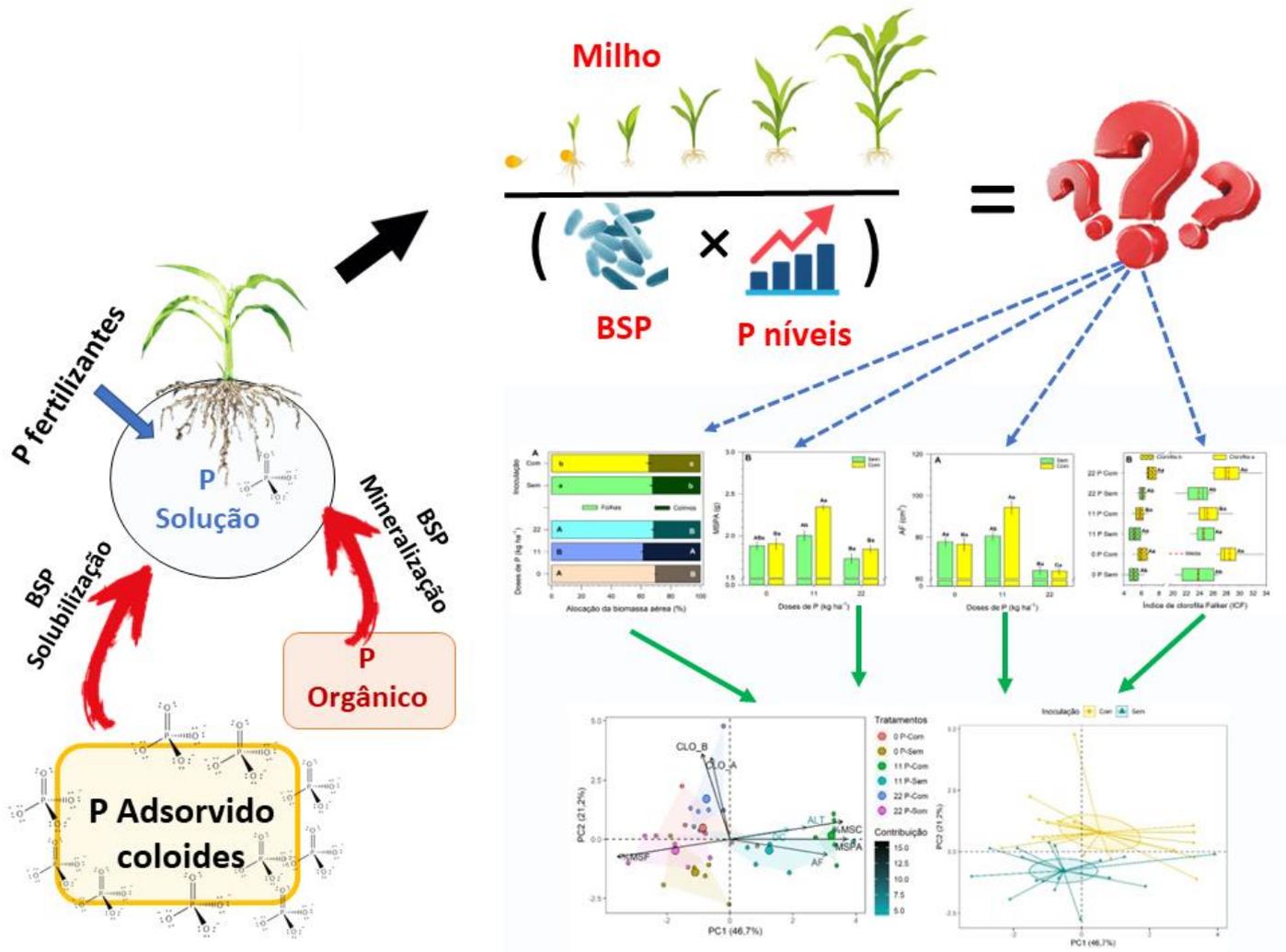
² Mestre em Solos e Nutrição de Plantas. Universidade de São Paulo. Piracicaba –SP. jhluz@usp.br; <https://orcid.org/0000-0003-4748-341X> & hpoliveira@usp.br, <https://orcid.org/0000-0002-8428-7664>.

³ Professor Adjunta na Universidade Federal do Tocantins - UFT. Gurupi – TO, chagasjraf@mail.uft.edu.br, <https://orcid.org/0000-0002-9786-2285> & Susana@mail.uft.edu.br, <https://orcid.org/0000-0002-9786-2285>

chlorophyll content was similar to 22 kg ha⁻¹. Phosphate-solubilizing bacteria contribute to the reduction of phosphate fertilizer doses, promoting more sustainable agriculture.

Keywords: Legacy P, Inoculant, P efficiency, Growth promoter.

RESUMO GRÁFICO



INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é o segundo nutriente mais requerido pelas plantas e também o segundo nutriente que mais limita a produção agrícola (Weil & Brady, 2017). Este nutriente exerce papel importante no metabolismo vegetal, por participar da fotossíntese, respiração, armazenamento e transferência de energia, transcrição de genes e reprodução (Buchanan et al., 2015).

A disponibilidade de P no solo é limitada, com a necessidade de aplicação deste nutriente via fertilizantes solúveis para o adequado crescimento das plantas (Viruel et al., 2014). Historicamente, os fertilizantes minerais, como o fosfato solúvel, desempenham papel significativo na reposição de P. No entanto, esses fertilizantes são derivados de fosfato de rocha mineral, um recurso finito (Gilbert et al., 2009).

Os fertilizantes solúveis, além do alto custo e da grande quantidade requerida, têm como problema que boa parte do P adicionado reage rapidamente com o solo e forma compostos de baixa disponibilidade às plantas (Fernández et al., 2012). É estimado que mais de 80% do P aplicado via fertilizante pode ficar indisponível para absorção pela planta logo após a aplicação. Essa indisponibilidade é consequência da precipitação (tipicamente por reação com Al^{3+} e Fe^{3+} em solos ácidos, Ca^{2+} em solos alcalinos) e adsorção aos colóides do solo, sobretudo óxidos de Fe e Al, e isto promove o acúmulo de P no solo (Gustafsson et al., 2012). Assim, uma forma de promover o uso com mais eficiência deste nutriente é explorar o P acumulado no solo, conhecido como P residual, ou *legacy P* - grande desafio para pesquisas atuais (Pavinato et al., 2020).

Dentre as alternativas que possibilitam a melhoria na eficiência das fontes de P, destaca-se a ação dos microrganismos solubilizadores de fosfato (Prabhu et al., 2019). Os microrganismos desempenham papel primordial na ciclagem de P no solo e conseguem transformar o P insolúvel em disponível às plantas (Owen et al., 2015). A inoculação no solo com bactérias solubilizadoras de P resultou em aumento no crescimento das plantas, rendimento e absorção de P em várias culturas, tais como o trigo e o milho (O’Callaghan et al., 2022).

Esta tecnologia está se tornando promissora para promover intensificação e sustentabilidade, de forma simultânea, para a agricultura brasileira, em especial no bioma Cerrado. Porém, muitas questões

permanecem sem respostas para seu correto posicionamento no campo. Por exemplo, as bactérias solubilizadoras de fósforo (BSP) são mais eficientes sobre supressão de P, no entanto, existem muitas incertezas sobre a redução ou não da adubação fosfatada associada a essa tecnologia. Além disso, poucos estudos quantificam os impactos sobre o crescimento e desenvolvimento das culturas comerciais, como é o caso do milho em condições que explorem o *legacy P* (Doydora et al., 2020).

Visto que a disponibilidade de P é um dos fatores limitantes na atividade agrícola em solos do Cerrado, a hipótese aqui testada foi que as BSP acessam o *legacy P* do solo, atenuando os efeitos da redução ou supressão da adubação fosfatada. Portanto, o objetivo foi verificar se as BSP alteram a morfologia e o índice de clorofila em estádios iniciais do milho em condições edafoclimáticas do Cerrado.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido ao ar livre, na Estação Experimental da Universidade Federal do Tocantins — UFT, campus de Gurupi (11°44’44,16” S e 49°03’04,17” W), altitude 280 m. O clima regional é do tipo BIWA “a”, úmido com moderada deficiência hídrica. A temperatura média anual é de 29,5 °C e a precipitação média anual de 1.430 mm, com verão chuvoso, inverno seco e elevado déficit hídrico entre os meses de maio a setembro (Alvares et al., 2013).

Designer experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2x3, com seis repetições. O primeiro fator foi composto pela inoculação ou não de bactérias solubilizadoras de P, *Bacillus subtilis* CEPA UFT - 109. Já o segundo fator foi composto por doses de P, 0, 11 e 22 kg ha⁻¹ via fosfato monoamônico (MAP, 48% de P₂O₅), corresponde a 0, 50 e 100% da dose recomendada para a cultura do milho, em médio nível tecnológico e com bom nível de P no solo (20,1-30 mg dm⁻³ Mehlich-1), segundo Ribeiro et al. (1999).

O solo utilizado como substrato para as unidades experimentais (UE, 8 dm³) foi um Latossolo Vermelho-amarelo (classe representativa de lavouras comerciais da região do Cerrado) coletado na camada de 0-15 cm, na Fazenda Renascer, município de Cariri do Tocantins – TO.

O local da coleta possui histórico de sete safras (desde 2014/15) com cultivo de soja/milho/braquiária, com 27% de argila, teor de P (Mehlich-1) de 13,8 mg dm³ e 300 mg dm³ de P total no solo na safra 2020/21. O solo foi seco, destorroado

e peneirado em peneira com malha de 2 mm (terra final seca ao ar). Posteriormente, foi realizada a caracterização química e textural do solo, conforme Teixeira et al. (2017) (Tabela 1).

Tabela 1. Análise química e textural do solo utilizado no experimento.

Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	CTC	CTCe	V	
----- cmol _c dm ⁻³ -----						%	
2,6	1,1	0,0	2,20	6,09	3,89	64	
P	K	S	MO	pH	Textura (g kg ⁻¹)		
----- mg dm ⁻³ -----				CaCl ₂	Areia	Silte	Argila
13,8	0,19	5	1,8	4.9	650	75	275

CTC: capacidade de troca catiônica; CTCe: capacidade de troca catiônica efetiva; V: saturação por bases; MO: matéria orgânica.

A recomendação de calagem, gessagem e adubação de base foi baseada na interpretação dos resultados da análise química do solo e extração pela cultura do milho para médio nível tecnológico, segundo Ribeiro et al. (1999). A adubação de cobertura foi realizada com cloreto de potássio (fonte com 58% de K₂O) e ureia (fonte com 44% de N).

O *Bacillus subtilis* (cepa UFT-09, com 1,2 x10⁹ UFC) foi inoculado no tratamento de sementes, cultivar de milho BRS 3046 (com aptidão para silagem/grãos) na dose de 100 mL 100 kg⁻¹ de sementes. O MAP foi macerado e diluído em água destilada (50 ml) e aplicado na superfície do solo. Em seguida, foi realizada a semeadura do milho com oito sementes por UE. Dez dias após a emergência (DAE) foi realizado o desbaste para duas plântulas por vaso. Os tratamentos culturais foram realizados conforme recomendado para a cultura. A capacidade de campo foi mantida a ~80% durante todo o período experimental com água destilada. As plantas foram conduzidas até os 40 DAE. Após esse período a velocidade do crescimento vegetativo nos vasos diminuiu.

Variáveis analisadas

Aos 40 DAE foram determinados: altura de plantas (ALT, cm): com o auxílio de uma régua, mediu-se do colo até o ápice; diâmetro do colo com auxílio de um paquímetro (DC, mm). A massa seca (g planta⁻¹) das folhas (MSF) e do colmo (MSC) foi com auxílio de balança analítica (0,0001 g), após acondicionamento das amostras em sacos de papel, com posterior secagem em estufa com circulação forçada de ar, a 65

°C por 72 horas (ou até obter peso constante). A massa seca da parte aérea (MSPA) foi obtida pela somatória das características supracitadas.

A área foliar foi determinada pelo “método de disco foliar”, conforme estudos realizados por Silva et al. (2000). A área foliar (AF, cm²) foi calculada com a equação: AF = ((MSF*2,85)/MSD). Onde, MSF é a massa seca das folhas (g), 2,85 é a área dos discos (cm²) e MSD é a massa seca dos discos (g). A MSD foi obtida com o auxílio de perfurador. Foram retirados 20 discos da parte central das folhas, os quais foram acondicionados em sacos de papel e secos a 65 °C por 72 h. Após esse período foram pesados em balança analítica (0,0001 g).

Os índices de clorofila foram quantificados com leituras na parte central do limbo foliar, em folhas completamente expandidas, com o auxílio de um clorofilômetro ClorofiLOG® modelo CFL 1030. O equipamento fornece resultados em unidades adimensionais, valores ICF (Índice de Clorofila Falker) da clorofila a (Clo_A), b (Clo_B) (Falker, 2022).

Análise estatística

A normalidade (Shapiro-Wilks) e homoscedasticidade da variância (Bartlett) foram verificadas para cada variável, quando não atendidos esses pressupostos foi aplicado a transformação Box-Cox. Em seguida, os resultados foram analisados por análise de variância (ANOVA, p ≤ 0,05) e as médias comparadas pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05), desdobrando os fatores quando verificada interação significativa.

Em seguida foi aplicado a análise dos componentes principais para determinar a dissimilaridades das variáveis e os tratamentos (Hair et al., 2009). Todas as análises e gráficos foram realizados com auxílio do programa R versão 4.1.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação para massa seca da parte aérea (MSPA), área foliar (AF) e índice de clorofila *a* e *b*. Ocorreu apenas efeito simples para alocação de biomassa e altura de plantas (ALT).

Para altura de plantas não foi verificado interação significativa entre os fatores ($p = 0,56$) (Figura 1-A), apenas efeitos simples para inoculação ($p = 0,00004$) e doses de P ($p = 0,0007$). Com inoculação, a média foi 34,7 cm, 9% superior comparado às plantas sem inoculação (31,6 cm). No efeito da adubação fosfatada, 0 kg ha⁻¹ de P apresentou menor média (30,9 cm), para as doses de P 11 e 22 kg ha⁻¹ não apresentaram diferença entre si com 34,75 cm e 33,85 cm de altura, respectivamente. Os tratamentos não influenciaram o diâmetro do colo aos 40 DAE (Figura 1-B) e a média geral foi de 7,12 mm.

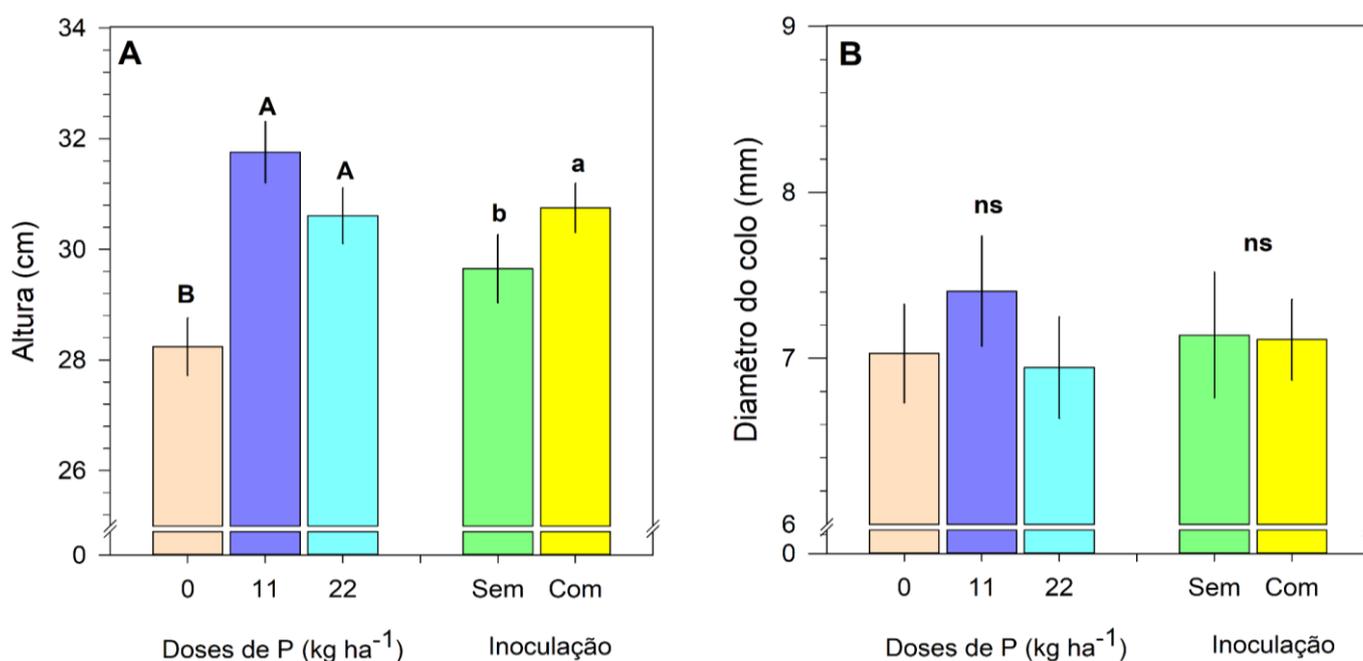


Figura 1. Altura de plantas (A) e diâmetro do colo (B) do milho 40 dias após a emergência com doses de fósforo, associados ou não com bactéria potencialmente solubilizadoras de fosfato. Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas para os efeitos da adubação fosfatada e minúsculas para os efeitos da inoculação, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns: não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

Para MSPA houve interação significativa entre inoculação e dose de P ($p = 0,044$) (Figura 2-B). O efeito do inoculante foi apenas significativo na dose 11 kg ha⁻¹ de P ($p = 0,00006$), onde com inoculação produziu 2,4 g de MSPA, superior em 15% a sem inoculação (2,0 g). Quanto à adubação fosfatada na presença do inoculante, a dose de 11 kg ha⁻¹ de P foi superior às doses 0 e 22 kg ha⁻¹ de P. Em 11 kg ha⁻¹ de P o acúmulo de MSPA foi de 23% e 27% a mais do que nas doses de 0 e 22 kg ha⁻¹, respectivamente na presença do inoculante. Na ausência do inoculante, 11 kg ha⁻¹ de P não diferiu da dose 0 kg ha⁻¹. Estes achados também foram

observados por Sánchez et al. (2016) e Gómez et al. (2018). De acordo com Raymond et al. (2020), quando o P é um fator limitante ocorre aumento da interação das plantas com os microrganismos, uma vez que há necessidade de atender a demanda das plantas por esse nutriente.

Não houve interação entre BSP e as doses de P para alocação de biomassa da parte aérea ($p = 0,19$ para folha e $p = 0,19$ para colmo) (Figura 2-A). Os efeitos simples mostraram que a alocação da biomassa no colmo foi maior com inoculação ($p = 0,005$). Na ausência de inoculação, a alocação foi maior nas folhas ($p = 0,004$).

De acordo com Blum et al. (2003), na disponibilidade adequada de P, a biomassa é alocada no colmo, pois é um órgão importante no armazenamento de carboidratos e translocação de

fotoassimilados. Portanto, o inoculante favoreceu um maior acúmulo de biomassa no colmo, que futuramente poderiam ser translocados para os órgãos reprodutivos.

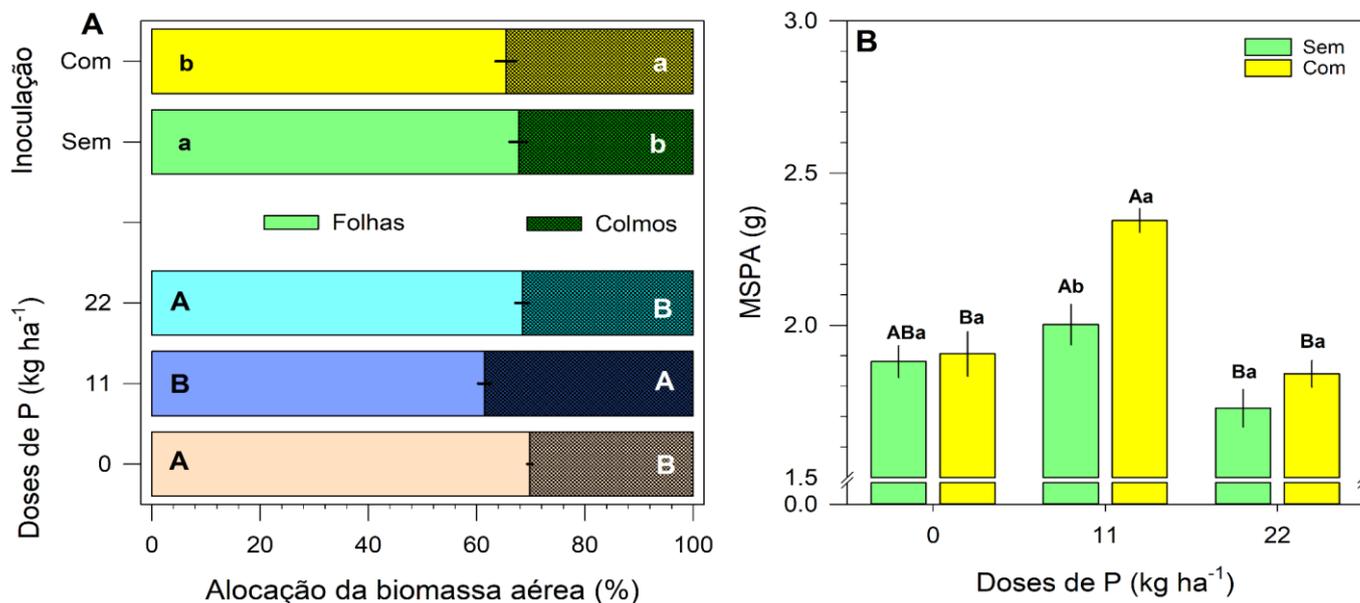


Figura 2. Alocação da biomassa (A) e massa seca da parte aérea (MSPA) (B) do milho 40 dias após a emergência com diferentes doses de fósforo associadas ou não com bactéria potencialmente solubilizadoras de fosfato. Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas para os efeitos das doses de P e minúsculas para os efeitos do inoculante não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quando o P é limitante ou excede a quantidade adequada, a maior alocação de biomassa tende a ser nas folhas conforme possível nas doses 0 e 22 kg ha⁻¹ de P. Estas alterações sugerem que em relação à parte aérea, em ambientes com baixa disponibilidade de P, as plantas de milho tendem a alocar maior biomassa nas folhas. Quando este nutriente não é ofertado em quantidade ideal os fotoassimilados são depositados no colmo.

Houve interação significativa dos fatores para área foliar (AF, $p = 0,0062$) (Figura 3-A). A AF apresentou resposta semelhante à MSPA. O uso do inoculante foi efetivo apenas com aplicação de 11 kg ha⁻¹ de P, com média de 94,44 cm², acréscimo de 17% em relação ao sem inoculante. Na ausência do inoculante, AF foi estatisticamente igual para 0 e 22 kg ha⁻¹ de P do inoculante. O excesso de adubação fosfatada ocasionou decréscimo (26%) nos valores de AF, que a 22 kg ha⁻¹ de P apontou para uma possível superação na assimilação de P, resultando em desequilíbrio entre os nutrientes nas folhas, e consequentemente reduzindo a AF das plantas.

Os microrganismos solubilizadores de P, como o *Bacillus subtilis*, podem excretar

fitohormônios, como o ácido indol-3-acético (AIA) e estimular algumas respostas como: aumento dos sítios mitóticos das raízes, favorecendo o alongamento do sistema radicular (Fagan et al., 2015). Isso explica a resposta das plantas quando utilizado 11 kg ha⁻¹ de P, onde as plantas acumulam maior MSPA (Figura 2-B) e consequentemente tiveram maior AF (Figura 3-A).

Em relação ao teor de clorofila *a* ($p = 0,039$) e *b* ($p = 0,02$) ocorreu interação dos fatores. Na dose de 0 kg ha⁻¹ de P, as plantas inoculadas apresentaram um incremento de 18% no índice de clorofila *a* e 10% na *b*, quando comparado às não inoculadas. Da mesma forma, com aplicação da dose 22 kg ha⁻¹ de P, as plantas inoculadas apresentaram maior índice de clorofila *a* e *b*, essa diferença foi de 14% e 9%, respectivamente. Isto evidência a ação das BSP, em indiretamente promover aumento no conteúdo de pigmentos fotossintéticos nas folhas. De acordo com Buchanan et al. (2015), as clorofilas estão relacionadas com a eficiência fotossintética das plantas, e consequentemente com o seu crescimento e adaptabilidade aos diferentes ambientes. Logo pode-

se inferir que a presença de BSP intensificou a atividade fotossintética das plantas.

É importante salientar o papel do P na nutrição das plantas, pois é um componente do ATP, que fornece energia ao processo ativo de absorção do N, elemento importante na síntese de clorofila e de aminoácidos e conseqüentemente proteínas (Buchanan et al., 2015). A dose de 22 kg ha⁻¹ de P

resulta diretamente em uma maior oferta deste nutriente, e a interação com o inoculante, proporcionando um aumento na exploração de raízes. De acordo com Masciarelli et al. (2013), os BSP, por meio da excreção de fitohormônios, aumentam os sítios mitóticos das raízes, o qual favorece um alongamento do sistema radicular e maior exploração do solo.

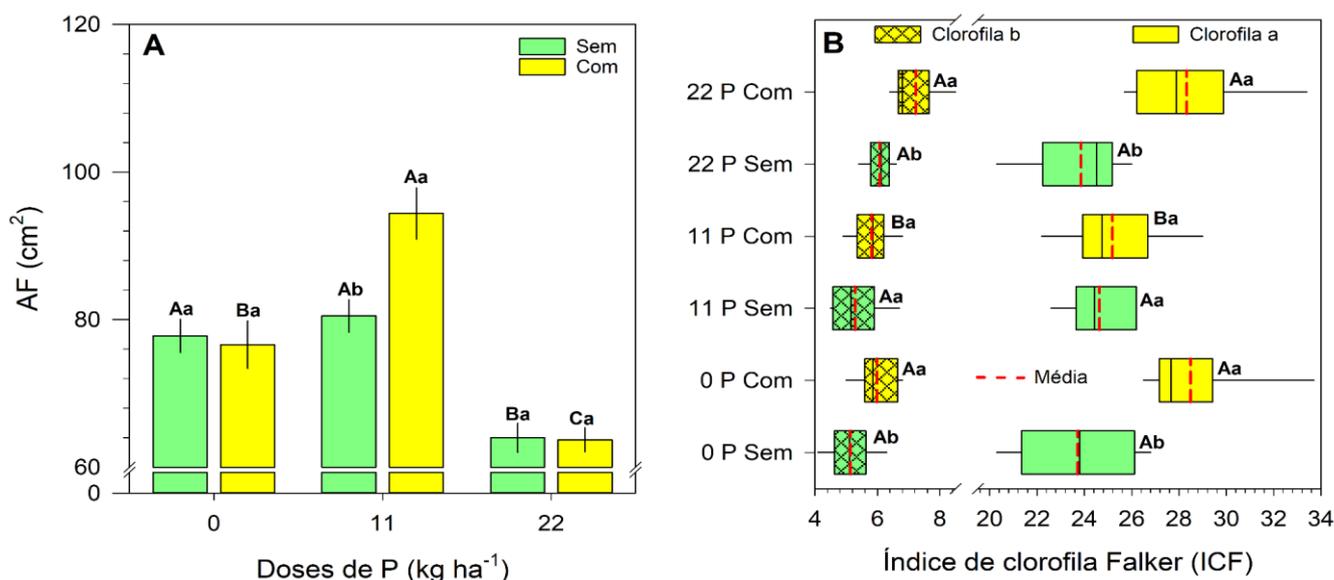


Figura 3. Área foliar (AF, A) e índice de clorofila Falker (ICF) a e b (B) do milho 40 dias após a emergência diferentes doses de fósforo associados ou não com bactéria potencialmente solubilizadoras de fosfato. Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas para os efeitos da adubação fosfatada e minúsculas para os efeitos do inoculante não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% probabilidade. Linhas tracejadas indicam a média.

Os resultados multivariados das componentes principais (PCA) indicaram que os dois primeiros componentes explicaram 68% da variação total (Figure 4-A). A PCA revelou que as doses de 11 (com e sem inoculação) e 22 kg ha⁻¹ de P (com inoculação) apresentaram os melhores desempenhos devido às maiores dissimilaridades pela distância de Mahalanobis (8,84, 2,56 e 2,18, respectivamente) com o controle (0 kg ha⁻¹ de P sem inoculação). Estes foram fortemente associados com MSPA, MSC, AF e ALT. Também é possível afirmar que globalmente, independente da dose de P, a inoculação de bactérias

com potencial de solubilização de fosfato beneficiou o crescimento e desenvolvimento inicial do milho (Figura 4-B).

As respostas positivas obtidas com a presença das BSP na MSPA nos índices de clorofila mostraram que a tecnologia BSP contribui com redução de doses de fertilizantes fosfatados e promove uma agricultura sustentável. Porém, mais estudos devem ser conduzidos para determinar a viabilidade desta prática em condições de campo e incluindo avaliação econômica.

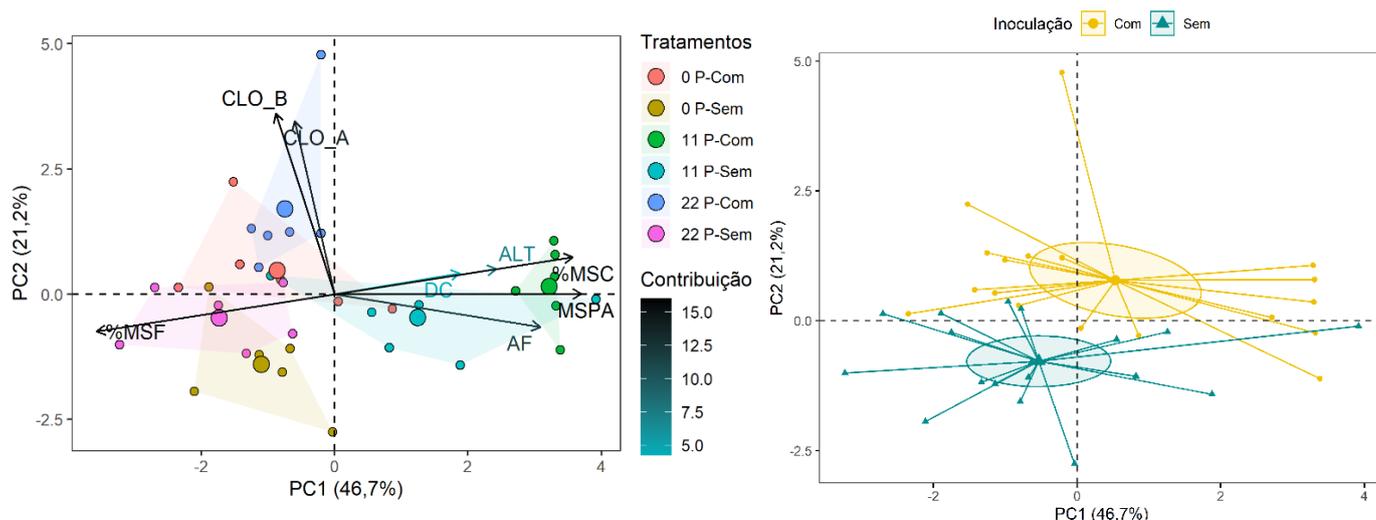


Figura 4. Biplot da análise de componentes principais dos efeitos da inoculação x doses de P (a) e simples da inoculação (b) nas características agrônômicas e pigmentos fotossintéticos do milho após 40 dias de emergência. PC1 e PC2: primeiro e segundo componentes principais; ALT: altura das plantas; DC: diâmetro do colo; %MSC e %MSF: porcentagem de alocação de biomassa para os colmos e folhas; MSPA: massa seca da parte aérea; AF: área foliar; CLO_A e CLO_B: clorofila a e b.

CONCLUSÃO

O uso de *Bacillus subtilis* promove respostas positivas no crescimento inicial do milho. A inoculação com redução da dose recomendada para o milho aumenta o conteúdo de clorofilas e a sua morfologia, consequentemente aumenta a produção de massa seca.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal do Tocantins e a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio a JL, HO, ACJ e SS.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.L.M. & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

Blum, L.E.B.; Sangoi, L.; Amarante, C.V.T.; Arioli, C.J. & Guimarães, L.S. (2003). Desfolha, população de plantas e precocidade do milho afetam a incidência e a severidade de podridões de colmo. *Ciência Rural*,

33, 805-811. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782003000500003>

Buchanan, B.B.; Gruissem, W. & Jones, R.L. (2015). *Biochemistry e molecular biology of plants*. Wiley Blackwell (6th ed., Vol. 1). Pondicherry: John Wiley & Sons. 1283 p.

Doydora, S.; Gatiboni, L.; Grieger, K.; Hesterberg, D.; Jones, J.L.; McLamore, E.S. & Duckworth, O.W. (2020). Accessing legacy phosphorus in soils. *Soil Systems*, 4(4), 74. <https://doi.org/10.3390/soilsystems4040074>

Fagan, E.B.; Ono, E.O.; Rodrigues, J.D.; Chalfun-Júnior, A. & Dourado-Neto, D. (2015). *Fisiologia Vegetal: Reguladores Vegetais*. Organização Andrei Editora. São Paulo.

Falker. (2022). **Manual do medidor eletrônico de teor de clorofila**. Disponível em: <<https://www.falker.com.br/br/clorofilog>>

Fernández, L.; Agaras, B.; Zalba, P.; Wall, L.G. & Valverde, C. (2012). *Pseudomonas* spp. isolates with high phosphate-mobilizing potential and root colonization properties from agricultural bulk soils under no-till management. *Biology and Fertility of*

- Soils**, Heidelberg, v. 48, p. 763-773, 201. <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0665-6>
- Ferreira, E.B.; Cavalcanti, P.P. & Nogueira, D.A. (2021). ExpDes.pt: **Pacote experimental designs** (Português). CRAN, Lavras, R package.
- Gilbert, J.; Gowing, D. & Wallace, H. (2009). Available soil phosphorus in semi-natural grasslands: Assessment methods and community tolerances. **Biological Conservation**, 142(5), 1074–1083. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.01.018>
- Gómez-Muñoz B.; Jensen L.; Neergaard A.; Richardson A. & Magid J. (2018). Effects of *Penicillium bilaii* on maize growth are mediated by available phosphorus. **Plant and Soil**, 431: 159–173. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3756-9>
- Gustafsson, J.P.; Mwamila, L.B. & Kergoat, K. (2012). The pH dependence of phosphate sorption and desorption in Swedish agricultural soils. **Geoderma**, 189-190, 304–311. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.05.014>
- Hair, J.F.J.; Black, W.C.; Babin, B.J.; Anderson, R.E. & Tatham, R.L. (2009). **Análise multivariada de dados**. (A. S. Sant'Anna & Consultoria, Eds.) (6th ed.). Porto alegre: Bookman. 682 p. <https://doi.org/10.1007/s12275-013-3136-3>
- Masciarelli, O.; Urbani L.; Reinoso, H. & Luna, V. (2013). Mecanismo alternativo para a avaliação da produção de ácido indol-3-acético (IAA) por cepas de *Azospirillum brasilense* e seus efeitos na germinação e crescimento de mudas de milho. **Journal of Microbiology**, v. 51, n. 5, p. 590-597.
- O'Callaghan, M.; Ballard, R.A. & Wright, D. (2022). Soil microbial inoculants for sustainable agriculture: Limitations and opportunities. **Soil Use and Management**, 38, 1340–1369. <https://doi.org/10.1111/sum.12811>
- Owen, D.; Williams, A.P.; Griffith, G.W. & Withers, P. (2015). Use of commercial bio-inoculants to increase agricultural production through improved phosphorus acquisition. **Applied Soil Ecology**. 86, 41–54. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.09.012>
- Pavinato, P.S.; Cherubin, M.R.; Soltangheisi, A.; Rocha, G.C.; Chadwick, D.R. & Jones, D.L. (2020). Revealing soil legacy phosphorus to promote sustainable agriculture in Brazil. **Scientific Reports**, 10(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72302-1> Pearson. 1082 p.
- Prabhu, N.; Borkar, S. & Garg, S. (2019). **Phosphate solubilization by microorganisms: Overview, mechanisms, applications and advances**. In S. N. Meena & M. M. Naik (Eds.), *Advances in Biological Science Research: A Practical Approach* (1st ed., pp. 161–176). London: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817497-5.00011-2>.
- Raymond, N.S.; Gómez-Muñoz, B.; van der Bom, F.J.; Nybroe, O.; Jensen, L.S.; Müller-Stöver, D.S. & Richardson, A.E. (2021). Phosphate-solubilising microorganisms for improved crop productivity: a critical assessment. **New Phytologist**, 229(3), 1268-1277. <https://doi.org/10.1111/nph.16924>
- Ribeiro, A.A.C.; Guimarães, H.P.T.G. & Alvarez, V.H. (1999). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5º aproximação** (5th ed.). Viçosa, MG: CFSEMG.
- Sánchez-Esteva, S.; Gómez-Muñoz, B.; Jensen, L.S.; Neergaard, A. & Magid, J. (2016). The effect of *Penicillium bilaii* on wheat growth and phosphorus uptake as affected by soil pH, soil P and application of sewage sludge. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, 3(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s40538-016-0075-3>
- Silva, L.C.; Beltrão, N.E.M.; & Amorim-Neto, M.S. (2000). **Análise de crescimento de comunidades vegetais**. EMBRAPA-CNAPA, (Circular Técnica, 34), 34, 47.
- Teixeira, P.C.; Donagemma, G.K.; Fontana, A. & Teixeira, W.G. (2017). **Manual de métodos de análise de solo** (3rd ed.). Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 574 p.
- Viruel, E.; Erazzú, L.E.; Martínez-Calsina, L.; Ferrero, M.A.; Lucca, M.E.; Sineriz, F. (2014). Inoculation of maize with phosphate solubilizing bacteria: effect on plant growth and yield. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Temuco, v.14, n. 4, p. 819-8931. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162014005000065>

Weil, R.R. & Brady, N.C. (2017). The nature and properties of soils. **Columbus** (15th ed., Vol. 1).