

EFEITO DA APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E INOCULAÇÃO COM BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FÓSFORO NA PRODUTIVIDADE DO MILHO

Karla Silva dos Santos¹, Vitor Hugo da Cruz Lima², Nallandha Victória Araújo Nascimento², Elias Mendes Costa³, Helio Lopes Araújo³

¹Estudante do Curso Superior Engenharia Agrônômica – IFTO. Bolsista do Programa de Iniciação Científica IFTO. e-mail: karla.santos4@estudante.ifto.edu.br

²Estudantes do Curso Superior de Engenharia Agrônômica – IFTO. e-mail: vitor.lima2@estudante.ifto.edu.br, nallandha.nascimento@estudante.ifto.edu.br

³Docentes do Curso Superior Engenharia Agrônômica – IFTO. Orientadores. e-mail: elias.costa@ifto.edu.br; helio.araujo@ifto.edu.br

1 INTRODUÇÃO

O milho é uma das principais culturas do agronegócio brasileiro, com ampla aplicação na alimentação humana, animal e na indústria. O Brasil é o terceiro maior produtor mundial, com aproximadamente 131,97 milhões de toneladas e produtividade média de 6.122 kg ha⁻¹ na safra 2024/25. No Tocantins, nessa mesma safra, a produção foi de 2,37 milhões de toneladas e produtividade média de 5.420 kg ha⁻¹ (CONAB, 2025).

Para atender à crescente demanda agrícola sem ampliar áreas cultivadas, é necessário um manejo adequado do solo, incluindo a correção da acidez e a adubação. O fósforo (P) é um dos macronutrientes mais exigidos pelas plantas, desempenhando papel fundamental na fotossíntese, respiração, alongamento celular e compondo ácidos nucleicos e fosfolipídios. Em solos ácidos, tende a formar complexos insolúveis com ferro e alumínio, tornando-se indisponível para as plantas (Wan et al., 2004). A calagem é prática essencial para neutralizar a acidez, elevar o pH e aumentar a disponibilidade de fósforo (Sanchez-Gonzalez et al., 2023).

Além disso, a inoculação com bactérias solubilizadoras de fósforo (BSF), como cepas dos gêneros *Bacillus* e *Pseudomonas*, pode potencializar a disponibilidade desse nutriente por meio da produção de ácidos orgânicos, redução do pH na rizosfera, quelatão de cátions e síntese de enzimas fosfatases responsáveis pela hidrólise de compostos orgânicos de P (Zheng et al., 2019; Bachtiar et al., 2024; Cruz et al., 2024).

2 OBJETIVO

O estudo teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de diferentes doses de calcário combinadas ou não com a inoculação com bactérias solubilizadoras de fósforo (BSF) na produtividade do milho.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental do curso de Engenharia Agrônômica do IFTO – Campus Avançado de Pedro Afonso, TO. O município localiza-se na região meio norte do estado, a 201 m de altitude, com clima tropical e solo classificado como Neossolo Quartzarênico.

O experimento foi iniciado em outubro de 2024, com a coleta de amostras de solo (0–20 cm e 20–40 cm) para análise de fertilidade. Após gradagem para descompactação e limpeza, aplicaram-se as doses de calcário conforme os tratamentos. As parcelas, de 4 × 3 m (12 m²) e espaçamento de 1 m, totalizaram 600 m² de área útil. O delineamento foi em blocos casualizados, com quatro repetições, em arranjo fatorial 5 × 2, sendo cinco níveis de saturação por bases (0%, 70%, 80%, 90% e 100%) combinados com a presença ou ausência de inoculação com bactérias solubilizadoras de fósforo (BSF), totalizando 10 tratamentos.

A inoculação com BSF (*Omsugo*TM P) foi realizada na semeadura, de acordo com os tratamentos. Entre novembro e março, cultivou-se soja, seguida do milho na safrinha, após a colheita da soja. Todas

as parcelas receberam *Azospirillum brasilense* para fixação biológica de nitrogênio e *Bacillus aryabhatai* para mitigação de estresse hídrico.

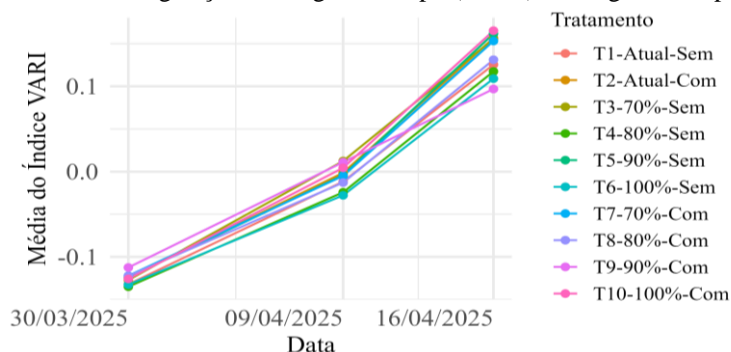
A semeadura manual do milho ocorreu em 08 de março de 2025, utilizando a cultivar P3707VYH, com espaçamento de 0,50 m entre linhas. A adubação de plantio foi de 500 kg ha⁻¹ da formulação 8-20-14, e a de cobertura de 100 kg ha⁻¹ de Cloreto de potássio (KCl) e 150 kg ha⁻¹ de ureia. O manejo de pragas e doenças foi baseado no monitoramento e seguiu as recomendações técnicas para a cultura.

Foram avaliadas as variáveis: índice ajustado por diferença visível (VARI), massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR), peso de mil grãos (PMG) e produtividade. O VARI foi obtido por meio de imagens captadas por drone com câmera RGB aos 23, 33 e 40 dias após a semeadura (DAS). A colheita foi realizada em 01 de julho de 2025 (115 dias após a semeadura), colhendo-se as duas linhas centrais de cada parcela. As espigas foram debulhadas manualmente e os grãos pesados para cálculo da produtividade, com os valores corrigidos para 13% de umidade. Os dados foram submetidos à ANOVA e, quando significativo, ao teste de *Duncan* 10% de probabilidade, utilizando o software R.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O índice VARI acompanhou a evolução da cobertura vegetal, evidenciando baixo vigor aos 23 DAS e início dos efeitos da calagem e inoculação aos 33 DAS, com destaque para T9 (90% V com inoculação) e T10 (100% V com inoculação) (Figura 1). Aos 40 DAS, T10 manteve o maior vigor e T5 (90% V sem inoculação) também apresentou bom desempenho, indicando que a calagem bem ajustada favoreceu o crescimento mesmo sem inoculante. Esses resultados corroboram com Cruz et al. (2024) e Zheng et al. (2019), que associaram a elevação da saturação por bases ao aumento da disponibilidade de fósforo e ao estímulo adicional da inoculação por meio da produção de ácidos orgânicos e enzimas fosfatases.

Figura 1 - Índice de vegetação ao longo do tempo (VARI) ao longo do tempo.



Fonte: Os autores (2025)

Apesar da ausência de diferença estatística, as doses mais altas de calcário (80% e 100%), quando combinadas com a inoculação, resultaram em um maior acúmulo de massa seca na parte aérea (MSPA), o que sugere um estímulo ao crescimento vegetativo (Tabela 1). Por outro lado, a massa seca de raízes (MSR) foi superior nos tratamentos sem inoculação, especialmente nas doses de 70% e 90% de saturação por bases, sugerindo que a calagem, mesmo sem inoculante, favorece o desenvolvimento radicular. Além disso, nos tratamentos inoculados, a presença da BSF observou-se aumentado na disponibilidade de P na rizosfera, reduzindo a necessidade de expansão radicular para obtenção do nutriente.

Tabela 1 – Análise estatística dos componentes de crescimento (MSPA, MSR, PMG) e produtividade.

V%	MSPA (g)		MSR (g)		PMG (g)		Produtividade (sc ha ⁻¹)	
	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com
Atual	0,42aA	0,50aA	0,50aA	0,60aA	114aB	123aA	111bB	155aA
70	0,65aA	0,49aA	0,80aA	0,56aA	126aA	124aA	146aA	144aA
80	0,64aA	0,81aA	0,69aA	0,68aA	127aA	123aA	143aA	153aA
90	0,47aA	0,52aA	0,79aA	0,68aA	125aA	131aA	147aA	159aA
100	0,44aA	0,76aA	0,58aA	0,69aA	118bAB	133aA	144aA	161aA
S	0,18		0,08		0,09		0,63	
B	0,33		0,64		0,04		0,48	
CV	55,75		42,57		5,55		15,59	

MSPA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca da raiz; PMG = peso de mil grãos; S = teste *Shapiro-Wilk*; B = teste de *Bartlett* do tratamento; CV = Coeficiente de variação (%).

Quanto ao PMG, a diferença estatística entre as doses foi observada apenas nos tratamentos sem inoculação, com melhores médias nas saturações de 70%, 80% e 90% de V%. Nas parcelas inoculadas, mesmo sem diferença estatística, as doses para V% de 90% e 100% foram as que mais se destacaram. Na comparação entre tratamentos com e sem inoculação, a diferença estatística foi detectada apenas na maior dose (100% de V%), na qual o tratamento inoculado apresentou maior média. Esse resultado indicou que, mesmo sem efeito estatístico para todas as doses, a inoculação com BSF favoreceu o enchimento de grãos, especialmente em solos corrigidos, como também relatado por Müller (2023).

Em relação à produtividade, a diferença estatística entre doses de calcário ocorreu apenas nos tratamentos sem inoculação, onde a aplicação, independentemente da dose, resultou em incremento médio de 34 sc ha⁻¹ em relação ao controle sem calagem. Nos tratamentos com inoculação, não houve diferença estatística entre doses, embora se tenha observado tendência de aumento com maiores saturações por bases. Ao comparar tratamentos com e sem inoculação, a diferença estatística ocorreu apenas no controle (sem calagem), no qual a inoculação resultou em incremento de 44 sc ha⁻¹. Esse ganho atribui-se à maior limitação de P em solos ácidos, potencializando o efeito da BSF na solubilização e disponibilização do nutriente, conforme discutido por Silva et al. (2022). Ainda que a diferença estatística entre tratamentos com e sem inoculação tenha sido registrada apenas no controle, todos os tratamentos inoculados, exceto o de 70% de V%, apresentaram maiores produtividades em relação aos seus respectivos pares sem inoculação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação de calcário, associada ou não à inoculação com bactérias solubilizadoras de fósforo (BSF), favoreceu o desenvolvimento vegetativo do milho. As doses de 80% e 100% de V% com inoculação aumentaram a massa seca da parte aérea, enquanto a massa seca de raízes foi maior em 70% e 90% de V% sem inoculação.

O peso de mil grãos variou apenas nos tratamentos sem inoculação, com melhores resultados em 70%, 80% e 90% de V%. Entre tratamentos, a diferença significativa ocorreu apenas em 100% de V%, com aumento no peso de grãos pela inoculação, sugerindo benefício adicional da BSF em solos corrigidos.

A produtividade respondeu à calagem apenas nos tratamentos sem inoculação, com incremento médio de 34 sc ha⁻¹ em relação ao controle. A inoculação elevou a produtividade no controle em 44 sc ha⁻¹, indicando efeito mais evidente em solos ácidos e menor disponibilidade de fósforo.

6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IFTO – Campus Pedro Afonso pelo apoio institucional e logístico, à FAPT pelo apoio financeiro com bolsa de iniciação científica, e à empresa *Corteva Agriscience* e à Fundação *Solidaridad* pela doação de materiais e produtos utilizados nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- BACHTIAR, T.; SYAHPUTRA, A. R.; CITRARESMINI, A.; NURJAYATI, R.; HIDAWATI, H.; RACHMAWATI, V.; MULYONO, A. Performances of phosphate-solubilizing microorganisms on soil chemical properties under different soil characteristics: a meta-analysis. **Journal of Degraded and Mining Lands Management**, Malang, v.11, n. 4, p. 6351-6366, 2024.
- CONAB, **Companhia Nacional de Abastecimento**. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Conab, safra 2024/2025, 10º levantamento, julho, 2025.
- CRUZ, D. R. C.; FERREIRA, I. V. L.; MONTEIRO, N. D. C.; NASCENTE, A. S.; OLIVEIRA, R. B.; SANTOS, S. D.; VIEIRA, I. D. O. Microorganismos multifuncionais na agricultura: uma revisão sistemática sobre bactérias solubilizadoras de fósforo. **Contribuciones A Las Ciencias Sociales**, v. 17, n. 3, p. e5854, 2024.
- MÜLLER, T. I. Respostas da cultura do milho à inoculação e doses de adubação nitrogenada em cobertura. 2023. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Unidade em Cachoeira do Sul, 2023.
- SANCHEZ-GONZALEZ, M. E.; MORA-HERRERA, M. E.; WONG-VILLARREAL, A.; LA PORTILLA-LÓPEZ, N.; SANCHEZ-PAZ, L.; LUGO, J.; YAÑEZ-OCAMPO, G. Effect of pH and carbon source on phosphate solubilization by bacterial strains in pikovskaya medium. **Microorganisms**, v. 11, n. 1, p. 49, 2023.
- SILVA, C. D. R.; LUZ, J. H. S.; ANDRADE, J. G.; OLIVEIRA, H. P.; JUNIOR, A. F. C.; SIEBENEICHLER, S. C. Inoculação de bactérias solubilizadores de fosfato no milho: reduzir ou não a adubação fosfatada? Insight dos primeiros estádios vegetativos. **Agri-Environmental Sciences**, v. 8, n. 2, p. 10-10, 2022.
- WAN, J. H. C.; WONG, M. H. Effects of earthworm activity and P-solubilizing bacteria on P availability in soil. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 167, p. 209–213, 2004.
- ZHENG, B. X.; ZHANG, D. P.; WANG, Y.; HAO, X. L.; WADAAN, M. A.; HOZZEIN, W. N.; YANG, X. R. Responses to soil pH gradients of inorganic phosphate solubilizing bacteria community. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 25, 2019.