



## Concentração de micronutrientes na raiz do milho em função do uso de silicato de Ca e Mg e doses de Nitrogênio associado à inoculação de *Azospirillum brasilense*

Antonio Leonardo Campos Biagini<sup>1\*</sup>; Fernando Shintate Galindo<sup>1</sup>; Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho<sup>1</sup>; Willian Lima Rodrigues<sup>1</sup>; Guilherme Carlos Fernandes<sup>1</sup>; Castro Alves da Silva Junior<sup>1</sup>; Marcelo Rinaldi da Silva<sup>1</sup>.

<sup>(1)</sup> Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Ilha Solteira, SP, Brasil, 15385-000 (\*leobiagini10@gmail.com).

**RESUMO:** Estudos são necessário para definir quanto de N mineral pode ser aplicado sem afetar a contribuição da FBN e maximizar a produtividade de grãos, além de determinar o impacto destas práticas na absorção de nutrientes na cultura do milho. Outra prática, que exerce inúmeros benefícios sobre gramíneas, principalmente quando as plantas são submetidas a estresses bióticos e abióticos, é a utilização do silício, que pode ser benéfico em condições climáticas adversas, como no Cerrado Brasileiro. Objetivou-se avaliar o efeito da inoculação com *A. brasilense*, associado à doses de N e aplicação de Si na forma de corretivo de acidez em solo de Cerrado Brasileiro, avaliando a concentração dos micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn e de Si na raiz na cultura do milho irrigado. O estudo foi realizado em Selvíria – MS, Brasil sob sistema plantio direto em um Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa na safra 2015/16. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições dispostos em arranjo fatorial 2 x 5 x 2: duas fontes de corretivo de acidez (calcário dolomítico PRNT = 80%, CaO = 28% e MgO = 20% e silicato de Ca e Mg como fonte de Si PRNT = 88%, Ca = 25%, Mg = 6% e Si total = 10%), cinco doses de N aplicado em cobertura (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha<sup>-1</sup>), com e sem inoculação das sementes com *A. brasilense*. O aumento das doses de N aumentou linearmente as concentrações de B, Cu, Mn, Zn e Si na raiz. A aplicação de Si na forma de silicato de Ca e Mg aumentou a concentração de Si na raiz. A inoculação com *A. brasilense* aumentou a concentração de B na raiz.

**Termos de indexação:** *Zea mays*, fixação biológica de nitrogênio em gramíneas, silício na agricultura.

### INTRODUÇÃO

A utilização de novas tecnologias sustentáveis,

visando aumento na produtividade e qualidade de alimentos se faz imprescindível na busca de uma agricultura competitiva e de baixa emissão de carbono. Nesse contexto, práticas que busquem mitigar a utilização de insumos e/ou otimizar sua utilização são estratégias que devem ser utilizadas nos sistemas agrícolas. Por isso, a utilização de inoculantes contendo bactérias diazotróficas que promovem o crescimento e incrementam a produtividade de plantas chamam cada vez mais atenção (GALINDO et al., 2016).

A tecnologia de inoculação de não leguminosas com bactérias promotoras do crescimento de plantas não simbióticas (PGPB), cujo principal representante é *Azospirillum* spp. é também cada vez mais adotado em diversos países, especialmente para culturas como milho e trigo (GALINDO et al., 2017), principalmente em função da possibilidade de aumentar a eficiência da adubação nitrogenada, devido ao alto custo fertilizantes e a conscientização de uma agricultura sustentável e menos poluente.

Entretanto, novas pesquisas são necessárias para definir quanto de N mineral pode ser aplicado para atingir níveis satisfatório de FBN com o *Azospirillum brasilense* em gramíneas, visando lucro ao produtor rural e em prol de uma agricultura com menos utilização de insumos (GALINDO et al., 2016).

Outra prática que se insere no contexto sustentável é a utilização do silício, que exerce inúmeros benefícios nas gramíneas, especialmente quando as plantas são submetidas a estresses bióticos e abióticos. Além disso, o silicato de Ca e Mg, além de corrigir a acidez, eleva os teores de fósforo, cálcio, magnésio e silício e, conseqüentemente, saturação por bases, reduzindo o efeito tóxico ferro, manganês e alumínio (REIS et al., 2008). O Si também pode estimular o crescimento das plantas através da formação de folhas verticais e melhor arquitetura da planta que aumentam a taxa fotossintética, com conseqüente redução do



acumulação devido à maior rigidez estrutural dos tecidos, e ainda apresenta outro importante benefício relacionado à redução na taxa de transpiração (REIS et al., 2008).

Diante o exposto, e frente à carência de informações sobre esta interação, acredita-se que possa existir efeito sinérgico entre a inoculação com *A. brasilense* e a aplicação de silício, possibilitando assim, maior eficiência da adubação nitrogenada e conseqüentemente alteração na quantidade de nutrientes absorvidas na cultura do milho. Desta forma, objetivou-se avaliar as concentrações de B, Cu, Fe, Mn, Zn e Si na raiz da cultura do milho irrigado, em função doses de N, fontes de corretivo de acidez e inoculação com *A. brasilense* na sementes.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no município de Selvíria, MS (22° 22 'latitude S e 51° 22 'O longitude, com altitude de 335 m) durante a safra de 2015/16. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa, segundo Embrapa (2013), cultivada com lavouras anuais há mais de 28 anos, com os últimos 11 anos sob o sistema de plantio direto, e as culturas anteriores ao milho foram milho e trigo, respectivamente.

Foi utilizado um delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições, dispostos em esquema fatorial  $2 \times 5 \times 2$ , composto por duas fontes corretivas do solo (calcário dolomítico PRNT = 80%, CaO = 28% e MgO = 20% e silicato de Ca e Mg como fonte de Si PRNT = 88%, Ca = 25%, Mg = 6% e Si total = 10%); Cinco doses de N (0,50, 100, 150 e 200 kg ha<sup>-1</sup>, na forma de ureia) aplicados em cobertura; com e sem inoculação do sementes com *A. brasilense*. As parcelas do experimento de milho apresentavam 5 m de comprimento com 6 linhas espaçadas por 0,45 m.

Os atributos químicos do solo na camada arável foram determinados antes da implementação do experimento em 2015, seguindo a metodologia proposta por Raij et al. (2001). Foram obtidos os seguintes resultados: na camada 0-0,20 m: 9,4 mg dm<sup>-3</sup> Si, 19 mg dm<sup>-3</sup> P (resina); 10 mg dm<sup>-3</sup> de S-SO<sub>4</sub>; 21 g dm<sup>-3</sup> de matéria orgânica; pH 5,0 (CaCl<sub>2</sub>); K, Ca, Mg, H + Al e Al = 2,1; 19,0; 13,0; 28,0 e 1,0 mmol<sup>c</sup> dm<sup>-3</sup>, respectivamente; Cu, Fe, Mn, Zn (DTPA) = 3,1; 20,0; 27,2 e 0,8 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente; 0,17 mg dm<sup>-3</sup> B (água quente) e 55% de saturação por bases.

Com base na análise do solo e com o objetivo de

aumentar a saturação por bases para 80%, as doses de 1,94 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico e 1,76 t ha<sup>-1</sup> de silicato de cálcio e magnésio foram aplicados 30 dias antes da semeadura milho, à lanço e sem incorporação. Para adubação de semeadura foram utilizados 375 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 08-28-16, baseado na análise do solo e produtividade esperada da cultura do milho.

A inoculação da sementes de milho com a bactéria *Azospirillum brasilense* estirpes Ab-V5 e Ab-V6 (garantia de  $2 \times 10^8$  unidades formadoras de colônia - UFC/mL), foi realizada na dose de 300 mL de inoculante (líquido) por hectare, uma hora antes da semeadura e após o tratamento e secagem completa das sementes com inseticida e fungicida. Para o tratamento de sementes, o fungicidas piraclostrobina + tiofanato-metílico (6g + 56g de i.a. por 100 kg de semente) e o inseticida fipronil (62 g de i.a. por 100 kg de semente) foram utilizados.

A semeadura mecânica do híbrido simples DOW 2B710 PW foi realizada em 13/11/15, sendo semeadas 3,3 sementes por metro. A emergência das plântulas ocorreu cinco dias após semeadura, em 18/11/2015. A safra de milho foi irrigada usando um sistema de pivô central, com uma lamina média de 14 mm e um intervalo de irrigação de aproximadamente 72 h.

Os herbicidas à base de tembotriona (84 g ha<sup>-1</sup> de i.a.) e atrazina (1000 g ha<sup>-1</sup> de i.a.) foram aplicados para o controle de plantas daninhas pós-emergência além da adição do óleo vegetal (720 g ha<sup>-1</sup> de i.a.) na calda do herbicida, e o controle dos insetos foi realizado com metomil (215 g ha<sup>-1</sup> i.a.) em 04/12/2015.

A adubação em cobertura com N (tratamentos) foi aplicada entre as linhas do milho, em 13/12/15 no estágio fenológico com seis folhas completamente desdobradas (V6). A aplicação foi feita manualmente, distribuindo-se o fertilizante na superfície do solo (sem incorporação e à lanço), ao lado aproximadamente 10 cm das linhas, a fim de evitar o contato do adubo com as plantas.

Em ocasião de florescimento, foram coletadas cinco plantas inteiras, e posteriormente parte e aérea e raiz foram separadas, lavadas e secas em estufa à 65°C. Posteriormente o material vegetal foi pesado e os teores de B, Cu, Fe, Mn, Zn e Si foram determinados em laboratório seguindo metodologia proposta por Malavolta et al. (1997) e Silva, (2009).

## Análise estatística

Os resultados foram avaliados pela análise de variância (teste F) e teste de Tukey a 5% de



probabilidade para comparação de médias dos corretivos de solo (calcário e silicato de Ca e Mg) e da inoculação ou não com *Azospirillum brasilense* e, ajustadas a equações de regressão para o efeito das doses de N, utilizando-se o programa SISVAR.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A utilização de silicato de Ca e Mg favoreceu a absorção de Si no sistema radicular, aumentando a concentração de Si na raiz (**Tabela 1**). Os corretivos de acidez não diferiram significativamente entre si para B, Cu, Fe, Mn e Zn. (**Tabela 1**).

Embora o Si tenha sido absorvido, conforme evidenciado pelo aumento na concentração de Si nas raízes, o Si não influenciou na absorção dos micronutrientes avaliados. De acordo com Korndörfer et al. (2010), quando o teor de Si no solo é superior a  $10.0 \text{ mg kg}^{-1}$ , os benefícios verificados pela aplicação deste elemento são menos acentuados. Como o teor de Si no solo do experimento apresentava valores de  $9,4 \text{ mg kg}^{-1}$ , possivelmente este foi um dos principais fatores para a ausência de resposta à utilização de Si na forma de silicato de Ca e Mg.

A inoculação com *A. brasilense* influenciou positivamente a concentração de B na raiz (**Tabela 1**). Para os micronutrientes Cu, Fe, Mn, Zn e Si, não houve influência da inoculação (**Tabela 1**). O *Azospirillum brasilense* tem a capacidade de produzir e secretar fitormônios que pode promover maior absorção de nutrientes (GALINDO et al., 2016), dentre eles o B, conforme verificado no presente trabalho.

As doses de N influenciaram positivamente as concentrações de B, Cu, Mn, Zn e Si na raiz. Houve ajuste à função linear crescente para todos os nutrientes e Si citados (**Tabela 1**). O aumento nas doses de N aplicadas possivelmente propiciou maior desenvolvimento do sistema radicular, que ao explorar maior volume de solo, conseguiu absorver maior quantidade de água e nutrientes, conforme verificado pelo aumento nas concentrações de micronutrientes e Si no presente trabalho.

## CONCLUSÕES

O aumento das doses de N aumentou linearmente as concentrações de B, Cu, Mn, Zn e Si na raiz.

A aplicação de Si na forma de silicato de Ca e Mg aumentou a concentração de Si na raiz.

A inoculação com *A. brasilense* aumentou a

concentração de B na raiz.

## REFERÊNCIAS

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3a ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2013. 353p.

GALINDO, F. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZZETTI, S.; SANTINI, J. M. K.; ALVES, C. J.; NOGUEIRA, L. M.; LUDKIEWICZ, M. G. Z.; ANDREOTTI, M.; BELLOTTE, J. L. M. Corn yield and foliar diagnosis affected by nitrogen fertilization and inoculation with *Azospirillum brasilense*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 40, n. 1, p. e015036, 2016.

GALINDO, F. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZZETTI, S.; SANTINI, J. M. K.; ALVES, C. J.; LUDKIEWICZ, M. G. Z. Wheat yield in the Cerrado as affected by nitrogen fertilization and inoculation with *Azospirillum brasilense*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 52, n. 9, p. 794-805, 2017.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Evaluation of the nutritional status of plants: Principles and applications. (In Portuguese.) 2.ed. Piracicaba, Potafos, 319 p, 1997.

KORNDÖRFER, P. H.; SILVA, G. C.; TEIXEIRA, I. R.; SILVA, A. G.; FREITAS, R. S. Effect of silicon fertilizer on forage grasses and soil chemical characteristics. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 40, n.1, p. 119-125, 2010.

RAIJ, B. Van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: IAC, 2001. 285 p.

REIS, M.A.R.; ARF, O.; da SILVA, M.G.; de SÁ, M.E.; BUZZETTI, S. Aplicação de silício em arroz de terras altas irrigado por aspersão. Acta Scientiarum. Agronomy, v. 30, n. 1, p. 37-43, 2008.

SILVA, F. C. da. (Ed.). Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009, 627 p.



**Tabela 1.** Concentrações de B, Cu, Fe, Mn, Zn e Si na raiz de milho em função das doses de N, fontes corretivas de acidez e inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense*. Selvíria, MS, 2015/2016

	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Si
	-----( $\text{mg kg}^{-1}$ D.M.)-----					--- ( $\text{g kg}^{-1}$ D.M.) ---
Doses de N						
0	53.28	40.88	2306.25	172.75	19.88	10.00
50	57.19	50.50	2296.25	246.88	23.88	11.14
100	60.31	52.88	2326.25	237.13	23.63	12.08
150	65.08	58.00	2327.88	266.63	29.63	11.74
200	71.20	65.88	2297.50	423.13	29.13	12.41
Fontes de corretivos de acidez						
Calcário	60.98 a	53.05 a	2318.50 a	245.55 a	27.05 a	9.59 b
Silicato de Ca e Mg	61.85 a	54.20 a	2303.15 a	293.05 a	23.40 a	13.36 a
L.S.D. (5%)	3.79	8.53	66.44	78.07	5.64	0.79
Inoculação						
Sem <i>A. brasilense</i>	58.54 b	53.30 a	2328.65 a	278.00 a	24.75 a	11.19 a
Com <i>A. brasilense</i>	64.28 a	53.95 a	2293.00 a	260.60 a	25.70 a	11.76 a
L.S.D. (5%)	3.79	8.53	66.44	78.07	5.64	0.79
Media geral	61.41	53.63	2310.83	269.30	25.23	11.47
C.V. (5%)	9.33	24.04	4.34	30.80	30.76	10.36

$$Y_B = 52.6665 + 0.0875x \quad (R^2 = 0.98^{**})$$

$$Y_{Cu} = 42.1250 + 0.1150x \quad (R^2 = 0.97^{**})$$

$$Y_{Mn} = 165.2000 + 1.0410x \quad (R^2 = 0.78^{**})$$

$$Y_{Zn} = 20.3750 + 0.0485x \quad (R^2 = 0.87^{**})$$

$$Y_{Si} = 10.3888 + 0.0108x \quad (R^2 = 0.82^{**})$$