

Micronutrientes foliares em plantas de milho inoculadas com *Azospirillum brasilense* e doses de nitrogênio no cerrado⁽¹⁾.

Rafael Novais de Miranda⁽²⁾; Thiago Prudente Siqueira⁽³⁾; Leticia Gomes de Freitas⁽⁴⁾; Ana Carolina Pereira de Vasconcelos⁽⁵⁾; Marcos Vieira de Faria⁽⁶⁾; Regina Maria Quintão Lana⁽⁷⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Fapemig.

⁽²⁾ Graduando em Agronomia; Universidade Federal de Uberlândia; Uberlândia, Minas Gerais; Email: rafaelnovaismiranda@gmail.com; ⁽³⁾ Graduando em Agronomia; Universidade Federal de Uberlândia; ⁽⁴⁾ Graduanda em Medicina Veterinária; Universidade Federal de Uberlândia; ⁽⁵⁾ Mestranda em Agronomia; Universidade Federal de Uberlândia; ⁽⁶⁾ Pós-doutorado em Agronomia; Universidade Federal de Uberlândia; ⁽⁷⁾ Professora Titular; Universidade Federal de Uberlândia.

RESUMO: O milho é a planta comercial mais importante do mundo e está entre as espécies mais cultivadas nos países em desenvolvimento. Objetivou-se avaliar o efeito de doses de nitrogênio na ausência e na presença de *Azospirillum brasilense* no desenvolvimento do milho e na produtividade de grãos, em segundo ano de cultivo. O experimento foi instalado durante a safra 2012/2013, em solo característico de cerrado, em Uberlândia, no Triângulo Mineiro. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com 6 repetições. Os tratamentos consistiram de 5 doses de nitrogênio, na ausência e na presença de *Azospirillum brasilense*. A inoculação foi realizada via tratamento de semente. Foram avaliados os teores foliares de micronutrientes. Não houve interação entre doses de nitrogênio e *Azospirillum brasilense*. A inoculação não promoveu efeitos significativos nos parâmetros analisados. Apenas o efeito isolado de doses crescentes de nitrogênio provocou aumento nos teores de zinco e cobre foliares.

Termos de indexação: *Zea mays*, bactéria diazotrófica, fixação biológica do nitrogênio.

INTRODUÇÃO

O milho é a planta comercial mais importante do mundo e está entre as espécies mais cultivadas nos países em desenvolvimento (Filguera, 2007). O Brasil plantou na safra 2013/2014 cerca de 6,6 e 8,8 milhões de hectares na primeira e segunda safra respectivamente, com colheita de aproximadamente 80 milhões de toneladas e consumo interno de menos de 55 milhões de toneladas (CONAB, 2014). O estado do Mato Grosso destaca-se por ser o maior produtor do grão do país e Minas Gerais é o quinto, com uma produção de aproximadamente 7 milhões de toneladas na safra 2013/2014 (CONAB, 2014).

A cultura do milho tem a capacidade de produzir mais de 30 toneladas por hectare, no entanto fatores bióticos e abióticos limitam sua produtividade. O manejo da adubação nitrogenada é uma das principais limitações para atingir altas produtividades na cultura, visto que sua deficiência pode afetar o rendimento em grãos em até 80%, além de diminuir o teor de proteína nos grãos (Fancelli, 2011). O nitrogênio (N) possui papel muito importante em vários processos essenciais para vida da planta, como constituinte da molécula de clorofila (Andrade et al., 2003), e também aminoácidos, coenzimas, bases nitrogenadas, ácidos nucléicos e enzimas (Taiz & Zeiger, 2004), por isso é considerado o elemento que mais influencia na produção (Roberto et al., 2010).

Ainda, o N é um dos nutrientes mais exigidos pela cultura e, segundo Raiji & Cantarella (1997), são necessários 16 Kg de N para produzir uma tonelada de grãos. Com isso, para atingir altas produtividades é preciso realizar adubações pesadas à base de N, aumentando o custo de produção, visto que a maioria do N utilizado no país é importado (Mariano et al., 2011). Além disso, a utilização desses fertilizantes podem deixar resíduos que atingem negativamente o meio ambiente, visto que metade do N que é adicionado ao solo não é absorvido pelas plantas (Galloway & Cowling, 2002) e pode promover a acidificação e eutrofização dos ecossistemas para onde é lixiviado (Gruber & Galloway, 2008). Assim, os benefícios com a fixação biológica de N (FBN), são tanto econômicos quanto ambientais (Castellen, 2005).

Diante do exposto, foi realizado um experimento na mesorregião do Triângulo Mineiro, com o objetivo de estudar o efeito da inoculação de *Azospirillum brasilense* (estirpe AbV5 e AbV6) e doses de N (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹), em segundo ano de cultivo, sobre os teores de macronutrientes foliares em plantas de milho em solo de cerrado.

MATERIAL E MÉTODOS



O experimento foi instalado em duas áreas adjacentes (simultaneamente, para ausência e presença do inoculante), com área total de 2.520 m², sendo 30 m² por tratamento e 10 m² de parcela útil, na Fazenda Experimental Capim Branco (18°55'23" S, 48°17'19"W e 872 m de altitude) pertencente à Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, MG, durante a safra 2012/2013, sendo o segundo ano de um experimento conduzido nas mesmas condições na safra (2011/2012).

O clima da região é, segundo classificação de Köppen-Geiger (1928), Aw: tropical com estação seca no inverno. A média de precipitação anual da região é de 1500 mm ano⁻¹.

O solo da área do experimento é classificado como Latossolo Vermelho escuro distrófico (EMBRAPA, 2006), apresentando textura argilosa (580 g kg⁻¹ de argila).

Antes da implantação do experimento foi feita a amostragem de solo, na profundidade de 0 a 20 cm, conforme CFSEMG (1999). A análise química de nutrientes foi realizada no Laboratório de Análises de Solo, Adubos e Corretivos da Universidade Federal de Uberlândia, segundo EMBRAPA (2011), apresentando a seguinte caracterização química: pH (H₂O) de 4,7; 2,8 dag Kg⁻¹ de matéria orgânica (MO); 51 mg dm⁻³ de fósforo (P) (Mehlich); 0,52 cmol_c dm⁻³ de potássio (K); 1,0 cmol_c dm⁻³ de cálcio (Ca); 0,5 cmol_c dm⁻³ de magnésio (Mg); 0,19 mg dm⁻³ de boro (B); 6,2 mg dm⁻³ de cobre (Cu); 34,0 mg dm⁻³ de ferro (Fe); 16,9 mg dm⁻³ de manganês (Mn); 2,1 mg dm⁻³ de zinco (Zn); 4,40 cmol_c dm⁻³ de acidez potencial (H+AL); 0,2 cmol_c dm⁻³ de alumínio (Al); 2,02 cmol_c dm⁻³ de soma de bases (SB); 6,42 cmol_c dm⁻³ de capacidade de troca catiônica (CTC); e saturação por bases V% = 32%.

A área foi preparada para o plantio com aplicação a lanço de 1 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, 40,2 % de CaO e 14% de MgO, PRNT 100%. Em seguida utilizou-se escarificador para abertura dos sulcos de plantio. A semeadura foi realizada manualmente em 23 de novembro de 2012, utilizando-se 3,5 sementes por metro linear, para obtenção do estande de 70.000 sementes por hectare.

Na semeadura, aplicou-se 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato triplo; 50 kg ha⁻¹ de K na forma de cloreto de potássio e 50 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia, exceto nos tratamentos com doses 0 de N. A adubação de cobertura, realizada no estádio de desenvolvimento V4, consistiu da aplicação de 100 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de cloreto de potássio e a dose de N necessária para completar a dose de cada tratamento, bem como foi

realizada adubação de 300 g ha⁻¹ de boro com octaborato de sódio tetra hidratado (20% de B) via solo e 2 kg ha⁻¹ de zinco com óxido de zinco (76 % Zn) via foliar.

No estádio V6 foi realizado o controle de plantas daninhas, utilizando-se pulverizador costal com volume de calda de 200 L ha⁻¹. Os herbicidas utilizados foram: atrazina (400 g L⁻¹), na dose de 4,0 L ha⁻¹ e tembotriona (420 g L⁻¹) na dose de 0,25 L ha⁻¹. A colheita foi realizada manualmente em 23 de abril de 2013, e a umidade dos grãos foi corrigida para 13%, para o cálculo de produtividade.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, no arranjo fatorial 2 x 5, com seis repetições. Os tratamentos foram realizados com ou sem inoculação da bactéria fixadora de N *Azospirillum brasilense* (100 mL ha⁻¹) via semente e cinco doses de N (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹). Foi utilizado o produto comercial Masterfix Gramínea® (cepas – AbV5 e AbV6), com concentração mínima de 2x10⁸ células mL⁻¹.

Cada parcela consistiu de 10 linhas com 6 metros de comprimento, espaçadas 0,5 m e a parcela útil para a colheita foi constituída das 4 linhas centrais, desconsiderando 1 metro de cada extremidade.

Foram utilizadas 4 doses de N e o tratamento controle, a seguir: 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹, como fonte foi utilizado ureia (43% de N).

Foi utilizado o híbrido de milho DKB 390 VTPRO.

Foi realizada análise química foliar no estádio R2, para a determinação dos teores de cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), conforme metodologia de EMBRAPA (2011).

Os dados obtidos foram submetidos a análises estatísticas, utilizando-se os programas Sisvar e o Excel. Os resultados para o fator quantitativo foram submetidos à análise de regressão polinomial em função das diferentes doses de N tanto para presença quanto para ausência de *Azospirillum brasilense*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados referentes aos teores de micronutrientes foliares (Cu, Fe, Mn, e Zn) no estádio R2, em função de diferentes doses de adubação nitrogenada e ausência e presença de *Azospirillum brasilense* estão apresentados na **Tabela 1**. Não houve interação significativa entre as diferentes doses de N em relação à presença ou ausência de *Azospirillum brasilense*, no que se refere aos teores de micronutrientes foliares (**Tabela 1**). No entanto, houve diferença significativa em relação às doses de N aplicadas, para os teores de



Cu e Zn foliar. Para os demais nutrientes não houve ajuste significativo para equações lineares ou quadráticas em relação às doses de N aplicadas (**Figuras 1a e 1b**).

Em contraste a este trabalho, Hungria et al. (2010) observaram que plantas inoculadas com *Azospirillum* spp. apresentaram um maior conteúdo de Zn e Cu nas folhas de milho.

Segundo a CFSEMG (1999), os teores recomendados para micronutrientes são para o Cu 6-20, Fe 20-250, Mn 20-150 e Zn 20-70 mg kg⁻¹. De acordo com os resultados apresentados pela **Tabela 1**, os micronutrientes avaliados estão dentro dos teores considerados adequados, em relação aos valores recomendados pela CFSEMG (1999).

De acordo com a análise da regressão apresentada na **Figura 1a**, com o aumento nas doses de N, houve aumento linear no teor de Cu foliar. A cada quilo de N aplicado, ocorre um incremento de 0,04385 mg kg⁻¹ de Cu nas folhas do milho, a partir do teor mínimo na dose 0 de 8,0533 mg kg⁻¹, com boa capacidade preditiva do modelo de 98,91%. Ainda, de acordo com a **Figura 1a**, para que ocorra acúmulo máximo de Cu foliar, deve-se aplicar a dose máxima de 200 kg de N ha⁻¹, que resulta no teor de Cu foliar de 16,8233 mg kg⁻¹. Contudo, a não aplicação de N resulta no teor de Cu foliar de 8,0533 mg kg⁻¹, que estaria ainda dentro da faixa considerada ideal pela CFSEMG (1999), para este elemento.

Com relação ao teor de Zn foliar (**Figura 1b**), observa-se aumento linear do teor deste elemento nas folhas do milho em função das doses de N aplicadas.

Moraghan & Mascagni Jr. (1991) relatam que o fato pode estar relacionado à acidificação do solo, que aumenta a disponibilidade dos micronutrientes como o Zn e Cu. Ainda, Fancelli (2011) menciona que maiores doses de N, aumenta o crescimento de raízes, aumentando a absorção dos micronutrientes.

Analisando o gráfico de regressão (**Figura 1b**), constata-se que para teor máximo de Zn foliar, deve-se aplicar a dose máxima de 200 kg de N ha⁻¹, que resulta no teor de Zn foliar de 5,7607 mg kg⁻¹. Observa-se ainda que, a não aplicação de N resulta no teor de Zn foliar de 4,6791 mg kg⁻¹, teores considerados baixos pela CFSEMG (1999). O incremento de Zn foliar é de 1,0816 mg kg⁻¹ para cada quilo de nitrogênio aplicado, a partir do teor mínimo na dose 0 de 4,6791 mg kg⁻¹.

CONCLUSÕES

Não houve interação entre doses de nitrogênio e *Azospirillum brasilense*.

A inoculação com *Azospirillum brasilense* em milho não promoveu diferenças significativas nos teores foliares de micronutrientes.

O aumento das doses de N resulta em maiores teores foliares de zinco e cobre.

AGRADECIMENTOS

À Fapemig pelo apoio a pesquisa no Estado de Minas Gerais.

REFERÊNCIAS

I.

- ANDRADE, A.C.; FONSECA, D.M. da; QUEIROZ, D.S.; SALGADO, L.T.; CECON, P. R. Adubação nitrogenada e potássica em capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Napier). Revista Ciência e Agrotecnologia, Lavras, Especial ed., p.1643-1651, dez. 2003.
- CASTELLEN, P. Análise estrutural e funcional da região glnBA de *Azospirillum brasilense*. 99f. Dissertação (Mestrado em Ciências-Bioquímica) – Departamento de Bioquímica, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2014), disponível em www.conab.gov.br, acesso em 06/10/2014.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Documentos 132. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2011. 230p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2 ed., Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006. 306p.
- FANCELLI, A.L. Fenologia, fisiologia da produção e implicações práticas de manejo. In: Milho: produção e produtividade, Piracicaba: USP/ESALQ/LPV, 2011, p. 1-34.
- GALLOWAY, J. N.; COWLING, E. B. Reactive Nitrogen and The World: 200 Years of Change. *Ambio*, v.31, nº2, p.64-71. 2002.
- GRUBER, N.; GALLOWAY, J. N. An Earth-system perspective or the global nitrogen cycle. *Nature*, v.451, p.293-296, 2008.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; SOUZA, E. M.; PEDROSA, F. O. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 331, n. 1/2, p. 413-425, 2010.
- MARIANO, E.; COSTA, H. T.; CORRALES, R. A. F. Uréia: novas tecnologias para fertilizantes nitrogenados. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2011.
- MORAGHAN, J.T. & MASCAGNI Jr., H.J. Environmental and soil factors affecting micronutrient deficiencies and toxicities. In: MORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M. & WELCH, R.M., eds. *Micronutrients in agriculture*. 2.ed. Wisconsin, Soil Science Society of America, 1991. p.371-425.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Cereais. In: Boletim técnico 100 – Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo, Campinas, Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997, p.45-71.



ROBERTO, V.M.O.; SILVA, C.D.; LOBATO, P.N. Resposta da cultura do milho a aplicação de diferentes doses de inoculante (*Azospirillum brasilense*) via semente. In.: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 18, 2010. Goiânia. Resumos... Goiânia: Anais do Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Nutrição Mineral. In: TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. p.96-101.

Tabela 1 – Teores de micronutrientes foliares (mg Kg^{-1}), na ausência e presença de *Azospirillum brasilense*, no segundo ano da cultura do milho, no estádio R2, Uberlândia - MG, 2013.

<i>Azospirillum brasilense</i>	Doses de Nitrogênio					Média
	0	50	100	150	200	
Cobre						
Ausência	8,45	10,05	12,40	15,00	16,10	12,40 A
Presença	7,53	9,92	13,07	15,15	16,72	12,48 A
DMS _{<i>Azospirillum</i>} : 1,832 CV: 12,70%						
Ferro						
Ausência	224,80	197,12	248,29	224,98	389,48	256,93 A
Presença	190,02	296,57	254,05	208,88	222,80	216,46 A
DMS _{<i>Azospirillum</i>} : 177,633 CV: 64,71%						
Mangânes						
Ausência	68,05	69,98	74,62	78,77	78,35	73,95 A
Presença	61,50	75,03	77,06	72,00	79,13	72,94 A
DMS _{<i>Azospirillum</i>} : 18,403 CV: 21,61%						
Zinco						
Ausência	21,22	21,63	27,77	30,58	31,37	26,51 A
Presença	21,52	23,10	26,97	28,48	32,12	26,44 A
DMS _{<i>Azospirillum</i>} : 3,491 CV: 11,37%						

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 0,05 de significância.

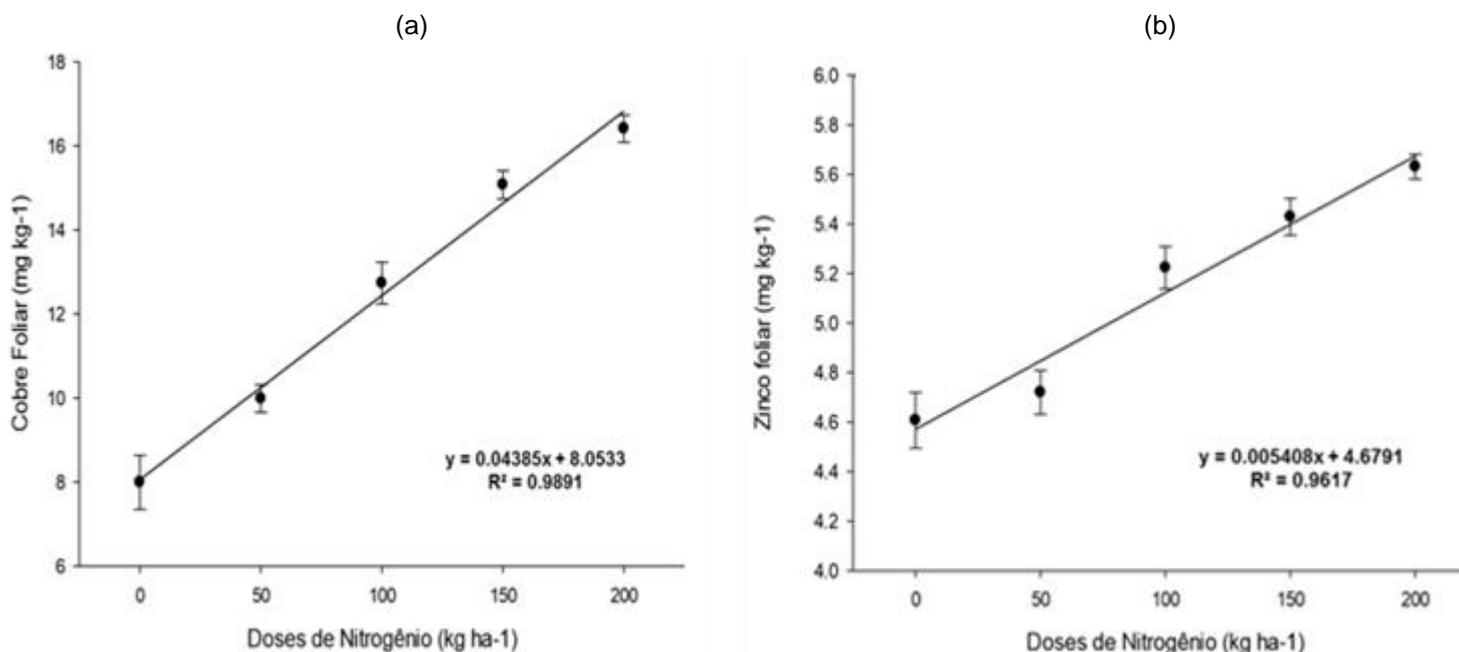


Figura 1 – Teores de cobre foliar (mg kg^{-1}) (a) e Teores de zinco foliar (mg kg^{-1}) (b), em função das doses de nitrogênio, no segundo ano de plantio do milho. Uberlândia, MG, 2013.