



Teores de macronutrientes foliares em plantas de milho inoculadas com *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada em solo de cerrado⁽¹⁾.

Arthur Henrique Martins Pires⁽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: arthurhmp@hotmail.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: A potencialidade das bactérias diazotróficas do gênero *Azospirillum* de contribuir com a nutrição nitrogenada de gramíneas, tem despertado grande interesse por parte de pesquisadores. 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 macronutrientes. 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 crescente nos teores de fósforo foliar.

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

INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é um dos mais importantes cereais cultivados e consumidos no mundo devido ao seu potencial produtivo e seu valor nutritivo, podendo ser usado tanto na alimentação humana como animal (Fancelli, 2011).

A produtividade média deste cereal no Brasil (4,4 t ha⁻¹), segundo Vitti et al. (2011), está muito abaixo do potencial produtivo atingido por bons produtores, por volta de 10 a 12 t ha⁻¹. O Estado de Minas Gerais vem se consolidando como o maior produtor de milho do país, apresentando uma safra recorde em 2011/2012 de sete milhões de toneladas, com uma área de cultivo superior a um milhão de hectares (CONAB, 2014).

Essa cultura é influenciada constantemente pelo ambiente, sendo que um dos principais fatores que limitam a produção é o uso inadequado de fertilizantes e corretivos. Entre os nutrientes exigidos pelo milho, o nitrogênio (N) merece destaque especial, já que sua deficiência pode afetar o rendimento em grãos entre 14 a 80%, além de diminuir o teor de proteína nos grãos (Fancelli, 2011). No entanto, o uso excessivo de fertilizantes, inclusive o N, pode vir a causar danos ambientais e aumentar o custo da lavoura. O fertilizante nitrogenado é o que mais onera o custo da adubação, chegando a representar cerca de 40% do custo total de produção da cultura do milho (Reis Júnior, 2008).

Além dessa necessidade de reduzir custos com adubação nitrogenada, visto que 70% dos fertilizantes nitrogenados utilizados no Brasil necessitam ser importados, encarecendo-os ainda mais para o produtor (Mariano et al., 2011), também é importante destacar a crescente preocupação com a poluição dos recursos hídricos e da atmosfera causados pelo uso inadequado de fertilizantes nitrogenados, visto que este nutriente está sujeito a perdas por erosão, lixiviação, volatilização e desnitrificação (Lara Cabezas et al., 2000). Outra preocupação frequente é o elevado custo energético para a obtenção dos fertilizantes nitrogenados minerais, que são produzidos a partir de combustíveis fósseis não renováveis e suas jazidas são finitas. Com isso, várias tecnologias têm sido testadas com objetivo de obter maior economia ou aumento na eficiência da utilização de N mineral.

Desta forma, 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 (2009), 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 P, K, Ca, Mg e S, 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 (VIEIRA, 2008) 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 macronutrientes foliares (P, K, Ca, Mg e S) 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 macronutrientes foliares (Tabela 1).

Resultados semelhantes foram encontrados por Dobbelaere et al. (2002) com as culturas de milho e trigo inoculados com diferentes concentrações de células de duas linhagens de *Azospirillum*, cultivados em substrato com diferentes concentrações de matéria orgânica e de N mineral, onde observaram



que a inoculação não alterou a concentração de macronutrientes nas plantas das culturas avaliadas.

Já Müller (2013), verificou a ocorrência de interação significativa entre os tratamentos com inoculação de *A. brasilense* e doses de adubação nitrogenada, em contraste com os resultados alcançados nesse trabalho. Com efeito, Araújo (2008) avaliando a emergência e o desenvolvimento das plantas de milho, em função da inoculação com bactéria promotora de crescimento em plantas, também encontrou maior teor de P, K, Ca e Mg foliar no tratamento com inoculação em relação à testemunha.

Entretanto, houve diferença significativa em relação às doses de N aplicadas, para o teor de P foliar (**Figuras 1**). Para os demais nutrientes não houve ajuste significativo para equações lineares ou quadráticas em relação às doses de N aplicadas.

Os resultados encontrados neste trabalho (**Tabela 1**) demonstram, segundo CFSEMG, (1999), que os teores foliares de P e S não se encontram adequados para a cultura do milho, em todas as doses avaliadas. Dessa forma, apenas os teores foliares de K, Ca e Mg, encontraram-se com teor foliar considerado adequado para esta cultura.

Pela análise da regressão mostrada na **Figura 1** para o estádio R2, observa-se que a curva do teor de P nas folhas de milho em função das doses aplicadas, ajustou-se a um modelo linear. De acordo com a equação obtida, com a maior dose de N aplicada neste experimento (200 Kg ha⁻¹), já seria possível, teoricamente, alcançar o máximo teor de P nas folhas (1,866 g kg⁻¹), sendo que a não aplicação de N resulta no teor de P foliar de 1,6994 g kg⁻¹; Assim, o incremento de P foliar é de 0,000833 g kg⁻¹ para cada quilo de N aplicado, a partir do teor mínimo na dose 0 de 1,6994 g kg⁻¹, com boa capacidade preditiva do modelo de 91,86%. Em conformidade, Casagrande & Fornasiere Filho (2002) avaliando adubação nitrogenada em milho segunda safra, encontraram maior teor de P foliar em função do aumento das doses de N, corroborando com os resultados obtidos neste experimento.

CONCLUSÕES

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

A inoculação com *Azospirillum brasilense* não promoveu diferenças significativas nos teores foliares de macronutrientes no milho.

O aumento das doses de N resulta em maiores teores foliares de fósforo.

AGRADECIMENTOS

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

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, S.C.; Realidade e perspectivas para o uso de Azospirillum na cultura do milho. Piracicaba: IPNI – International Plant Nutrition Institute Brazil. 32p. (IPNI. Informações Agronômicas, 122). 2008.
- CASAGRANDE, J.R.R.; FORNASIERI FILHO, D. Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.37, n.1, p.33-40, 2002.
- CFSEMG – COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ed. Lavras, 1999. 359 p.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2014), disponível em www.conab.gov.br, acesso em 22/06/2014.
- DOBBELAERE, S.; CROONENBORGHES, A.; THYS, A.; PTACEK, D.; OKON, Y.; VANDERLEYDEN, J. Effect of inoculation with wild type Azospirillum brasilense and A. irakense strains on development and nitrogen uptake of spring wheat and grain maize. Biology and Fertility of Soils, v.36, p.284-297, 2002.
- 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.
- FANCELLI, A.L. Fenologia, fisiologia da produção e implicações práticas de manejo. In: Milho: produção e produtividade, Piracicaba: USP/ESALQ/LPV, 2011, p. 34.
- LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O.; KORNODORFER, G. H.; PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura do milho em sistema plantio direto no Triângulo Mineiro. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 14, p. 363-376, 2000.
- MARIANO, E.; COSTA, H. T.; CORRALES, R. A. F. Ureia: novas tecnologias para fertilizantes nitrogenados. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2011.
- MÜLLER, T. M. Inoculação de Azospirillum brasilense associada a níveis crescentes de adubação nitrogenada e o uso de bioestimulante vegetal na cultura do milho. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Universidade Estadual do Centro-Oeste - Guarapuava, 2013.
- REIS JUNIOR, F.B.dos.; MACHADO, C.T.de.T.; MACHADO, A.T.; SODEK, L. Inoculação de *Azospirillum amazonense* em dois genótipos de milho sob diferentes regimes de nitrogênio. Revista Brasileira Ciência do Solo, v32, p.1139-1146, 2008.
- VIEIRA, S.; Introdução à bioestatística; Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. 4ª ed. 360p.
- VITTI, G.C. et al. Nutrição e adubação do milho. In: Milho: produção e produtividade. Piracicaba: USP/ESALQ/LPV, 2011, p. 147-166.

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

<i>Azospirillum brasilense</i>	Doses de Nitrogênio					Média
	0	50	100	150	200	
Fósforo						
Ausência	1,87	1,95	1,92	2,35	2,48	2,17 A
Presença	2,10	1,97	2,37	2,40	2,55	2,22 A
DMS _{<i>Azospirillum</i>} : 0,41 CV: 16,12%						
Potássio						
Ausência	21,75	22,17	21,75	22,00	22,00	21,93 A
Presença	22,92	21,75	21,25	21,58	22,00	21,70 A
DMS _{<i>Azospirillum</i>} : 1,861 CV: 7,36%						
Cálcio						
Ausência	5,05	5,25	5,53	4,88	5,10	5,16 A
Presença	4,88	5,72	5,98	5,08	5,45	5,42 A
DMS _{<i>Azospirillum</i>} : 0,357 CV: 16,55%						
Magnésio						
Ausência	4,78	4,53	4,95	4,25	4,30	4,56 A
Presença	4,46	4,67	5,17	4,57	4,77	4,73 A
DMS _{<i>Azospirillum</i>} : 0,986 CV: 18,31%						
Enxofre						
Ausência	0,90	0,90	0,97	0,97	0,90	0,93 A
Presença	0,75	0,95	0,88	0,92	1,00	0,90 A
DMS _{<i>Azospirillum</i>} : 0,191 CV: 18,15%						

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

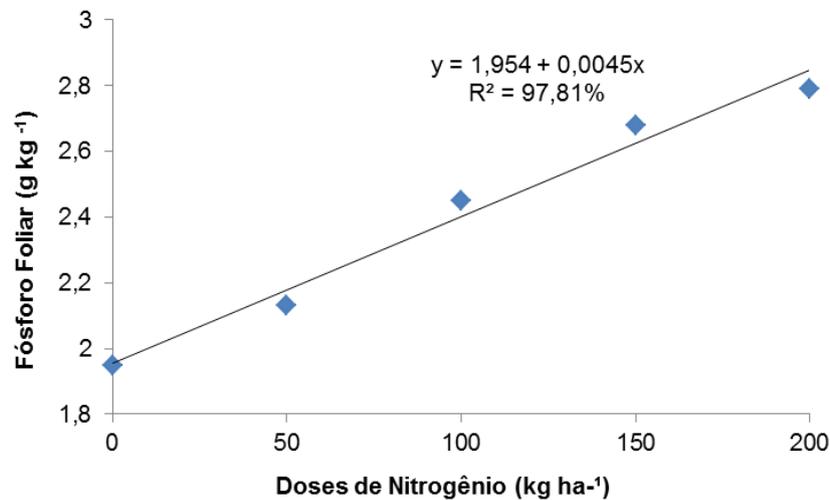


Figura 1 – Teores de fósforo foliar (g kg^{-1}), em função das doses de nitrogênio, no segundo ano de plantio do milho. Uberlândia, MG, 2013.