



ARTIGO ORIGINAL

Desempenho agrônômico do milho em função da inoculação com *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada

*Agronomic performance of maize as a function of inoculation with *Azospirillum brasilense* and nitrogen fertilization*

Rodrigo Cardoso Moreira 
Franciele Caroline de Assis Valadão 
Daniel Dias Valadão Júnior* 

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFMT), Rodovia MT-235, Km 12, Zona Rural, 78360-000, Campo Novo do Parecis, MT, Brasil

*Autor Correspondente:

E-mail: daniel.valadao@cnp.ifmt.edu.br

PALAVRAS-CHAVE

Fixação biológica de nitrogênio
Sulco de semeadura
Tratamento de sementes
Zea mays

KEYWORDS

Biological nitrogen fixation
Planting furrow
Seed treatment
Zea mays

RESUMO: O milho é uma das culturas que mais consome adubação nitrogenada na forma mineral, sendo preterido pela soja por não haver uma forma eficiente e mais ecológica de fornecer o nutriente. Assim, foi objetivo neste trabalho avaliar o desempenho agrônômico do milho em função de formas de aplicação do *Azospirillum brasilense* e doses de adubo nitrogenado em cobertura. O experimento foi realizado em Latossolo Vermelho Distrófico típico textura argilosa, em delineamento em blocos casualizados com oito repetições, utilizando o esquema fatorial 2x5+2, sendo duas formas de aplicação do inoculante (uma em sulco de semeadura e outra em tratamento de sementes), cinco doses de nitrogênio (N) em cobertura (0,0; 17,5; 35; 52,5 e 70 kg ha⁻¹) utilizando como fonte a ureia e dois tratamentos adicionais (sem a utilização do *A. brasilense* com doses de 0,0 e 70 kg ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura, respectivamente). Em pleno florescimento foram avaliados: duração do ciclo vegetativo, teores de clorofila, matéria seca de planta, altura de planta e conteúdo de nitrogênio. No período de maturação foram avaliados: componentes de produção, produtividade e relação de custo-benefício. A utilização do *A. brasilense* proporciona diferentes respostas à cultura do milho, dependendo da forma de utilização e dose de N. Essa prática não substitui totalmente a utilização do adubo nitrogenado em cobertura, porém, a aplicação do *A. brasilense* no sulco de semeadura apresenta maior produtividade e melhor relação custo-benefício quando comparado à inoculação nas sementes.

ABSTRACT: Maize is one of the crops that consumes the most nitrogen fertilization in the mineral form, being predated by soybeans because there is no efficient and greener way to provide the nutrient. Thus, this work aimed to evaluate the agronomic performance of corn as a function of the application of *Azospirillum brasilense* and nitrogen fertilizer doses. The experiment was carried out in a typical clayey Latosol, in a randomized block design with eight replications using the 2x5+2 factorial scheme, two forms of application of the inoculant (one in sowing groove and the other in seed treatment), five (0.0, 17.5, 35, 52.5 and 70 kg ha⁻¹) using as urea source and two additional treatments (without the use of *A. brasilense* with doses of 0.0 and 70 kg ha⁻¹ of nitrogen in coverage, respectively). During flowering it was evaluated: duration of the vegetative cycle, chlorophyll content, plant dry matter, plant height and nitrogen content. During the maturation period it was evaluated: production components, productivity and cost benefit ratio. The use of *A. brasilense* provides different responses to maize crop, depending on the way of use and dose of N. This practice does not completely replace the use of nitrogen fertilizer in cover, however, the application of *A. brasilense* in the sowing furrow shows higher productivity and better cost benefit relation when compared to inoculation in the seeds.

Recebido em: 24/04/2018

Aceito em: 17/11/2018

1 Introdução

O milho cultivado em segunda safra apresenta crescimento expressivo no cenário agrícola nacional, passando de 3,31 milhões para 10,5 milhões de hectares cultivados na última década e com a produção saltando de 10,71 milhões para 40,84 milhões de toneladas no mesmo período, com aumento de 381,32% na produtividade (CONAB, 2016a).

Aliado ao acréscimo de produtividade, está o aumento do requerimento nutricional, sendo o nitrogênio (N) o nutriente mais absorvido e extraído pela cultura do milho. Estima-se que, para cada tonelada de grãos de milho produzidos, sejam extraídos 21 kg de N, sendo que 70% a 77% do N absorvido é translocado para os grãos. Para se obter a produtividade na faixa de 8,0 Mg ha⁻¹, é recomendado a aplicação de 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura e 70 kg ha⁻¹ em adubação de cobertura (Sousa & Lobato, 2004).

Para suprir a demanda nitrogenada dessa cultura, utilizam-se fertilizantes sintéticos, entre eles, o mais utilizado é a ureia, que tem como vantagem a fácil disponibilidade de N para absorção. Porém, esse fertilizante apresenta baixo aproveitamento pelas plantas, que varia de 42% a 49% (Silva et al., 2009), devido às perdas de N para o ambiente, as quais podem ser por imobilização microbiana, na qual microrganismos do solo absorvem o nutriente para suprir suas necessidades e, após o término do seu ciclo vital, estes são mineralizados e liberam novamente o N ao solo, ocorrendo a lixiviação, ou seja, a perda por meio da infiltração de água no solo, principalmente na forma de NO₂⁻ e NO₃⁻, e a volatilização de amônia, momento em que o N retorna para a atmosfera. Isso ocorre, principalmente, quando se utiliza a ureia como fonte de N em condições inadequadas de umidade e temperatura (Sousa & Lobato, 2004).

Entre as alternativas para redução do consumo de fertilizantes sintéticos pela cultura do milho, tem-se a utilização de bactérias diazotróficas, as quais são capazes de fixar o N atmosférico e disponibilizá-lo às plantas em formas lábeis. O N fixado torna-se disponível para a planta pela excreção direta da bactéria ou pela mineralização de bactérias mortas. Nessa associação não simbiótica, ocorre a colonização da rizosfera pelas bactérias e não há penetração delas nos tecidos radiculares (Pandolfo et al., 2015). Entre os gêneros capazes de se associar a raízes de gramíneas está o *Azospirillum*, que possui eficiência quanto à fixação biológica de N até 78% maior que outros gêneros encontrados juntos às raízes desse grupo de plantas (Kuss et al., 2007).

Além disso, a associação do *Azospirillum* com o milho tem apresentado benefícios, como a produção de ácido indolacético (Kuss et al., 2007), melhoria no crescimento e aumento na produtividade, podendo variar de 9,4 (Kappes et al., 2013) a 29% dependendo do híbrido de milho, que podem responder diferentemente (Martins et al., 2012), e a forma de inoculação, sendo que, para Müller et al. (2016) a aplicação de *A. brasilense* no sulco de semeadura demonstrou ser mais eficiente, uma vez que apresentou rendimento de grãos 2% maior que quando a bactéria foi inoculada nas sementes. Atualmente, os produtores de milho geralmente inoculam a bactéria diretamente na semente, ou por aplicação em sulco de semeadura, dentre esses, a sua utilização no sulco demonstra ser mais viável, pois sofre menos interferência do uso de fungicidas nas sementes (Zilli et al., 2010).

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho agrônômico do milho em função de formas de aplicação do *Azospirillum brasilense* e doses de adubo nitrogenado em cobertura, além de mensurar o rendimento obtido pela associação ou não de *A. brasilense*, visando reduzir a dose de adubação nitrogenada.

2 Material e Métodos

O experimento foi executado de março a julho de 2016 no campo experimental do Instituto Federal de Mato Grosso, campus Campo Novo do Parecis, cujas coordenadas são 13°40'31" de latitude sul e 57°53'31" de longitude oeste, estando à altitude de 572 m. O clima da região é tropical quente e úmido e o solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico (EMBRAPA, 2013).

Para o início do experimento, foi coletado solo na camada de 0,00 a 0,20 m de profundidade da área experimental para análise química e física deste, conforme a metodologia da Embrapa (SILVA, 2009), tendo como características do solo pH em CaCl₂: 5,4; matéria orgânica: 31,0 g dm⁻³; fósforo (P): 8,80 mg dm⁻³; potássio (K⁺): 53,00 mg dm⁻³; cálcio (Ca²⁺): 3,10 cmol_c dm⁻³; magnésio (Mg²⁺): 1,16 cmol_c dm⁻³; alumínio (Al³⁺): 0,0 cmol_c dm⁻³; H+Al: 3,33 cmol_c dm⁻³; CTC: 7,72 cmol_c dm⁻³; argila: 588 g kg⁻¹; areia 256 g kg⁻¹; silte 156 g kg⁻¹.

Os dados climatológicos (precipitação e temperatura média) referentes ao período em que a cultura permaneceu no campo são apresentados na Figura 1.

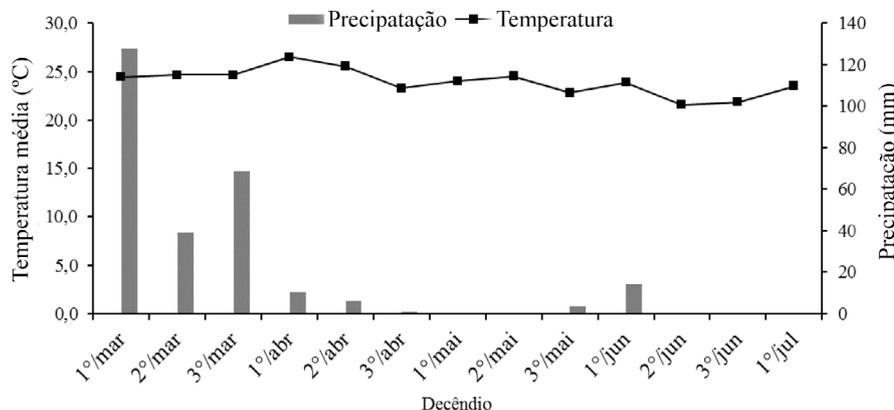


Figura 1. Precipitação acumulada e temperatura média por decêndio, 2016

Figure 1. Cumulative precipitation and average temperature per decade, 2016

Foi utilizado o delineamento experimental em blocos casualizados em esquema fatorial $2 \times 5 + 2$, com oito repetições. O primeiro fator corresponde às duas formas de aplicação do *Azospirillum brasilense*, sendo uma via semente, e a outra, aplicação no sulco de semeadura. O segundo fator refere-se a cinco doses de nitrogênio em cobertura 0;25; 50; 75 e 100% da dose recomendada por Sousa & Lobato (2004), considerando a produtividade de $8,0 \text{ Mg ha}^{-1}$, o que corresponde a aplicação de 0,0; 17,5; 35; 52,5 e 70 kg ha^{-1} de N. Os dois tratamentos adicionais (controle) constituíram 0 e 100% da dose recomendada de nitrogênio em adubação de cobertura, sem aplicação de *A. brasilense*.

Utilizando ainda a recomendação de Sousa & Lobato (2004), a adubação de semeadura foi de 30 kg ha^{-1} de N, 40 kg ha^{-1} de fosforo (P_2O_5) e 40 kg ha^{-1} de potássio (K_2O), sendo padrão para todos os tratamentos. Em cobertura, juntamente com a adubação nitrogenada, foi feita a adubação potássica com 30 kg ha^{-1} de K_2O . Como fontes dos nutrientes, utilizou-se ureia (45% de N), o superfosfato simples (18% de P_2O_5) e o cloreto de potássio (60% de K_2O).

A unidade experimental foi composta por parcelas de oito linhas, espaçadas a 0,45 m e com 6,0 m de comprimento cada. A área útil de cada parcela foi composta pelas quatro linhas centrais, desprezando 1,0 m do início e do final de cada linha. Antes da semeadura, o controle de plantas daninhas foi realizado com a aplicação de paraquat na dose de $400 \text{ g i.a. ha}^{-1}$. As sementes foram tratadas com piraclostrobina, tiofanato metílico e fipronil na dose recomendada ao milho para prevenção de doenças e insetos-pragas de início de ciclo, a qual foi de $200 \text{ mL p.c. por } 100 \text{ kg}$ de sementes. A semeadura foi realizada manualmente no dia 7 de março de 2016, utilizando o híbrido superprecoce Syngenta Formula TL na população de 55 a 60 mil plantas por hectare, e a abertura dos sulcos e a distribuição do adubo aplicado em semeadura foram feitas mecanicamente utilizando semeadora.

Como fonte de *A. brasilense*, foi utilizado o produto comercial Biomax® Premium Milho cujo a estirpe é AbV5 e concentração de $2,0 \times 10^8$ de unidades formadoras de colônias por mL, fazendo uso das doses de 150 mL ha^{-1} quando o *A. brasilense* foi aplicado nas sementes, e 500 mL ha^{-1} do inoculante quando aplicado no sulco de semeadura, conforme a recomendação do produto. Para os tratamentos que receberam inoculação do *A. brasilense* nas sementes, o procedimento foi feito após o tratamento das sementes com o fungicida e inseticida momento antes da semeadura.

A adubação de cobertura foi feita no dia 23 de março de 2016, quando as plantas estavam em estágio V4. Oportunidade que também se avaliou estande inicial.

Em pleno florescimento (estádio R1) foram avaliados a duração do ciclo vegetativo, altura de plantas, matéria seca de folhas, matéria seca da planta, o teor de clorofila e conteúdo de nitrogênio acumulado nas folhas. Para determinação de altura, utilizou-se uma trena para medir a distância da superfície do solo até a inserção da última folha. Para a determinação do teor de clorofila, o terço médio de quatro folhas bandeiras de cada parcela, com o medidor eletrônico Clorofilom marca Falker, antes das 10 h,

para reduzir a interferência luminosa, realizadas as leituras de clorofila *a*, clorofila *b* e clorofila total.

Para a determinação do conteúdo de nitrogênio nas folhas, foram coletadas todas as folhas de quatro plantas em cada parcela e, em seguida, elas foram secas em estufa de ventilação forçada regulada a 60°C até atingir massa constante. Após esse procedimento, as folhas foram moídas em moinho tipo Willey e digeridas em solução sulfúrica para determinação do teor de N via destilação Kjeldahl (SILVA, 2009). Determinado o teor de N, o conteúdo foi estimado levando em consideração a massa de folhas.

No estágio de maturação, foram escolhidas quatro espigas aleatoriamente e quantificado o número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF), diâmetro de espiga (DE) e comprimento de espiga (CE). Para o cálculo de massa de mil grãos (MMG), foi utilizado contador de grãos automático e feita a pesagem em balança de precisão. Após a colheita e trilha de todas as espigas de cada parcela, os grãos foram pesados para se obter a produção da área útil e feita a estimativa de produtividade (PROD). As variáveis MMG e PROD tiveram os valores corrigidos para umidade 13% (porcentagem de comercialização).

Além dessas análises, foi feita a relação de custo-benefício dos tratamentos. Para que fosse possível realizar esse estudo, quantificou-se o custo de produção para cada tratamento por meio do levantamento de custos de produção do milho para a região oeste do estado do Mato Grosso, realizado pelo Instituto Mato-grossense de Estatística Agropecuária (IMEA, 2016). Assim, foi determinado o custo de produção sem o custo da adubação e, com base na cotação dos adubos realizado pela CONAB para agosto de 2016 (CONAB, 2016b), foi quantificado o custo da adubação de cada tratamento. Ademais, para estimar o custo do inoculante, contactou-se o fornecedor do produto para cotar o preço da dose, logo acrescentando a este o custo de produção, obtendo-se o custo de produção de cada tratamento. Por fim, para se obter o valor bruto de produção (VBP), foi realizada a cotação da saca de milho juntamente à CONAB (2016c) no mês de agosto de 2016, a qual estava fixada a R\$ 30,74 na cidade de Campo Novo do Parecis, MT, e multiplicado pela produtividade em sacas por hectare referente a cada tratamento.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e, quando F significativo ($p < 0,05$), foi aplicado o teste de média Dunnett ($p < 0,05$) para a interação significativa entre tratamento adicional e fatorial, análise de regressão para doses e teste Tukey ($p < 0,05$) para formas de utilização do inoculante respeitando as respectivas interações. As análises estatísticas foram feitas no programa Assistat 7.7 beta.

3 Resultados e Discussão

Foi observado que não houve efeito dos tratamentos para massa seca de plantas, porém, a altura de planta foi afetada pela interação entre formas de utilização *A. brasilense* e dose de N (Figura 2). Quando se aplicou o inoculante no sulco de semeadura, a altura de plantas aumentou até a dose estimada pelo modelo quadrático de $28,55 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, correspondendo à altura máxima de 185,48 cm. A partir dessa dose houve redução na altura de plantas. Por outro lado, quando foi aplicado via sementes, não se observou efeito das doses de nitrogênio.

Verifica-se, então, que o inoculante aplicado no sulco de semeadura estimulou o crescimento das plantas do milho, uma vez que a altura máxima de plantas obtida na dose de 28,55 kg ha⁻¹ de N com inoculante no sulco de semeadura foi semelhante à aplicação de 70 kg ha⁻¹ de N sem a utilização do *A. brasilense* (Tabela 1). Isso porque as bactérias do gênero *Azospirillum* possuem elevada capacidade de produção de ácido indolilacético, o qual desempenha papel importante na promoção de crescimento de plantas (Radwan et al., 2004).

O conteúdo acumulado de N na parte aérea por hectare não foi influenciado pela forma de inoculação do *A. brasilense*, variando apenas em relação à dose de N em cobertura (Figura 3A). O modelo de regressão que mais se adequou aos dados foi o quadrático, obtendo-se na dose de 44,04 kg ha⁻¹ de N em adubação de cobertura o acúmulo de 52,46 kg ha⁻¹ de N em folhas, correspondendo ao maior acúmulo pela parte aérea do milho. A partir dessa dose houve redução do conteúdo de N.

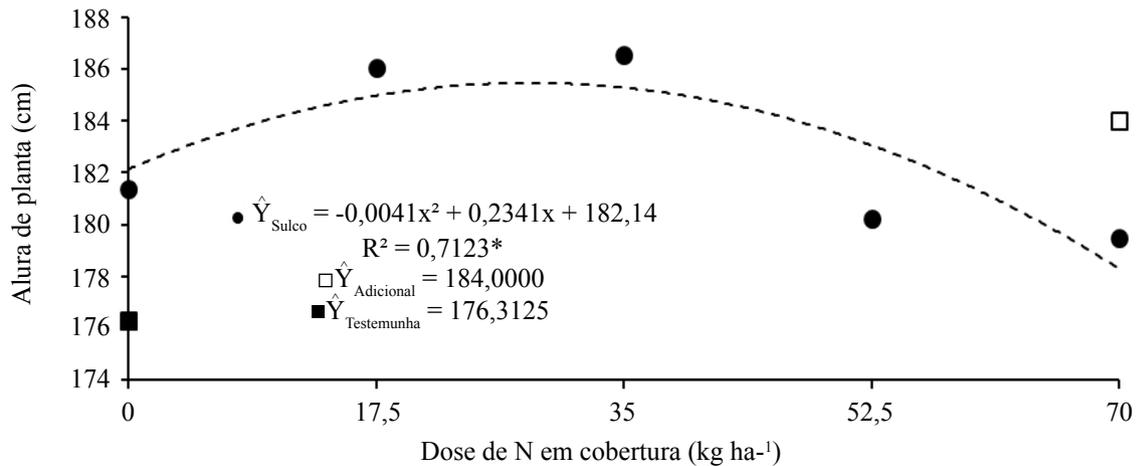


Figura 2. Altura de plantas em função da aplicação de *Azospirillum brasilense* no sulco de semeadura e doses de nitrogênio na cultura do milho, comparado aos tratamentos adicionais e testemunha, os quais não foram inoculados, 2016

*Equação significativa pelo teste F (p < 0,05). Coeficiente de variação: 2,82%.

Figure 2. Plant height as a function of the application of *Azospirillum brasilense* in the sowing furrow and nitrogen doses in the corn crop, compared to the additional and control treatments, which were not inoculated, 2016

*Equation significant by the F test (p < 0.05). Coefficient of variation: 2.82%.

Tabela 1. Médias do desdobramento das interações entre dose de N em cobertura e forma de inoculação, 2016

Table 1. Means of unfolding the interactions between dose of N in cover and form of inoculation, 2016

| F. de Inoculação ¹ | Dose de N em cobertura (kg ha ⁻¹) | | | | |
|--|---|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 0,00 | 17,50 | 35,00 | 52,50 | 70,00 |
| Altura de planta (cm) | | | | | |
| Sulco | 181,3750* a | 186,0625 a | 186,5625 a | 180,2500* b | 179,5000* a |
| Semente | 184,8750 a | 181,5625* a | 183,0000* a | 187,4375 a | 182,9375* a |
| Adicional ² | 184,0000 a | - | - | - | - |
| Testemunha ³ | 176,3125* b | - | - | - | - |
| Teor de clorofila A (µg. cm ²) | | | | | |
| Sulco | 43,2065* a | 42,8375* a | 42,0625* a | 42,3625* a | 41,9375* b |
| Semente | 43,1500* a | 42,8175* a | 42,5188* a | 43,2750* a | 45,6125* a |
| Adicional ² | 42,6000* a | - | - | - | - |
| Testemunha ³ | 43,8375* a | - | - | - | - |
| Comprimento de espiga (cm) | | | | | |
| Sulco | 13,6052 a | 12,5683 a | 13,6240 a | 13,2170 a | 13,1145 a |
| Semente | 12,5290 b | 13,3093 a | 13,9505 a | 13,2375 a | 13,6273a |
| Adicional ² | 13,4913 a | - | - | - | - |
| Testemunha ³ | 11,1760* b | - | - | - | - |

Tabela 1. Continua...

Table 1. Continuation...

| F. de Inoculação ¹ | Dose de N em cobertura (kg ha ⁻¹) | | | | |
|-------------------------------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 0,00 | 17,50 | 35,00 | 52,50 | 70,00 |
| | Número de grãos por fileira | | | | |
| Sulco | 30,0625 a | 29,0625 a | 29,6250 b | 30,3125 a | 29,0000 b |
| Semente | 28,5625 a | 29,4375 a | 31,9375 a | 30,2500 a | 32,0000 a |
| Adicional ² | 31,5000 a | - | - | - | - |
| Testemunha ³ | 25,4875* b | - | - | - | - |

¹ Forma de inoculação.

² Tratamento adicional, com dose de N em cobertura de 70 kg ha⁻¹ sem aplicação de *A. brasilense*.

³ Testemunha, sem aplicação de N em cobertura e sem aplicação de *A. brasilense*.

Letras iguais não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$) e comparam as formas de inoculação sulco e semente em cada dose de nitrogênio. Os tratamentos que apresentam (*) não diferem da testemunha pelo teste Dunett ($p < 0,05$).

¹ Form of inoculation

² Additional treatment, with N dose in 70 kg ha⁻¹ coverage, without application of *A. brasilense*.

³ Witness, without application of N in cover and without application of *A. brasilense*.

Equal letters do not differ from each other by the Tukey test ($p < 0,05$) and compare the furrow and seed inoculation forms at each dose of nitrogen. The treatments that present (*) do not differ from the control by the Dunett test ($p < 0,05$).

Estudos apontam que elevadas doses de N ocasionaram a redução do teor de N foliar (Ferreira et al., 2009), isso porque os excessos de fertilizantes nitrogenados são prejudiciais, devido à salinidade do fertilizante e grandes quantidades de NH_4^+ , que provocam toxidez, a qual causa a inibição da síntese de clorofila, degradação de cloroplastos e proteínas (Prado, 2008).

Quanto ao teor de clorofila, não foi observado efeito dos tratamentos sobre a clorofila *b* e clorofila total, porém, a clorofila *a* foi influenciada pela interação entre as formas de inoculação,

não havendo efeito das doses de N quando a aplicação foi feita no sulco de semeadura. Já quando a forma de inoculação foi via sementes, o teor de clorofila *a* teve comportamento quadrático em relação às doses de N, havendo aumento no teor de clorofila a partir da dose de 27,59 kg ha⁻¹ de N (Figura 3B). Deve-se ressaltar que na dose recomendada de 70 kg ha⁻¹, o *A. brasilense* aplicado via sementes proporcionou maior teor de clorofila *a* nas folhas do milho quando comparada à mesma dose sem a utilização da bactéria (Tabela 1).

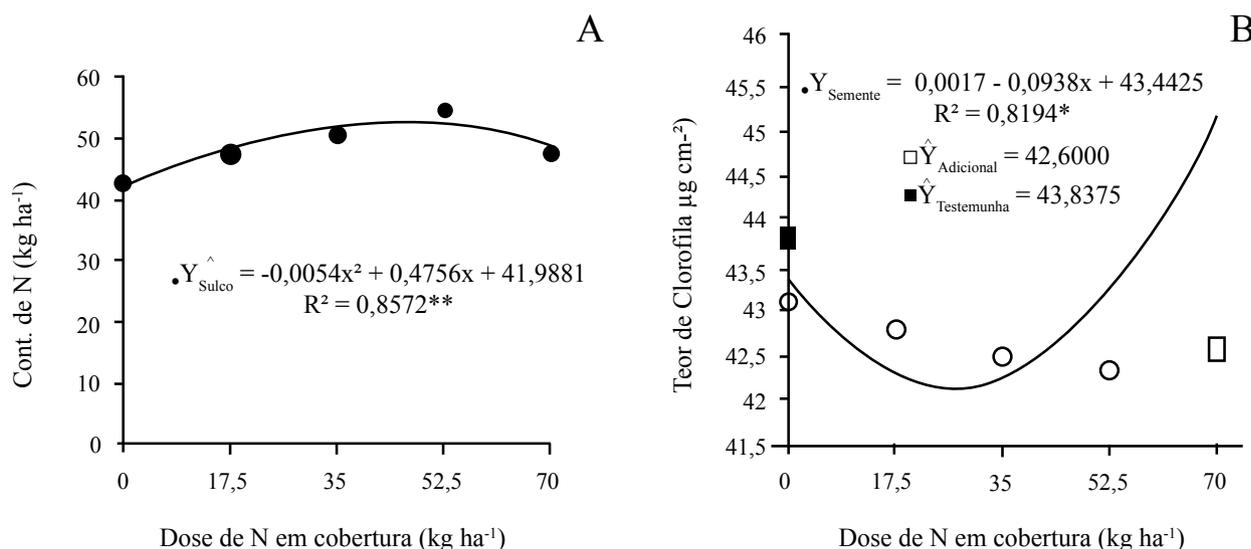


Figura 3. Análise de regressão do conteúdo de N (A) e teor de clorofila *a* (B) na inoculação via tratamento de sementes comparado aos tratamentos adicional e testemunha, 2016

*Equação significativa pelo teste F ($p < 0,05$). **Equação significativa teste F ($p < 0,01$). Coeficientes de variação, respectivamente: 13,40 e 4,73%.

Figure 3. Regression analysis of the content of N (A), chlorophyll *a* content (B) in inoculation via seed treatment compared to additional treatments and control, 2016

*Equivalent equation F test ($p < 0,05$). **Equation significant F test ($p < 0,01$). Coefficients of variation respectively: 13.40 and 4.73%

A clorofila *a* corresponde a cerca de 75% de toda a clorofila das plantas verdes e possui a capacidade de absorver maior quantidade de luz vermelha, assim, apesar de existir outros tipos de clorofila como a *b* e *c*, estas não substituem o papel da clorofila *a*. Isso acontece porque a energia luminosa absorvida por esses outros pigmentos é transferida para a clorofila *a*, tornando-a o pigmento mais importante para as plantas superiores como o milho (Raven et al., 2007).

Corroborando com o trabalho de Quadros et al. (2014), também constatou-se maior teor relativo de clorofila em três diferentes híbridos de milho quando eles foram inoculados com bactérias do gênero *Azospirillum*, ressaltando a variação dos resultados entre os híbridos de milho, o que se deve à capacidade de cada híbrido de absorver N proveniente da fixação biológica, portanto, sendo possível verificar uma resposta varietal no milho. Diferentemente dos resultados aqui obtidos, Müller et al. (2016) verificaram que não houve interação entre o *A. brasilense* e doses de N em cobertura sobre o teor de clorofila das plantas de milho, havendo apenas resposta do milho em relação às doses de N.

Quanto aos atributos produtivos do milho, verifica-se que o diâmetro de espiga e número de fileiras por espiga não foram afetados pelos tratamentos. Também para massa de mil grãos não houve efeito das formas de inoculação do *A. brasilense*, variando apenas em relação à dose de N em cobertura (Figura 4A).

As doses de N afetaram linearmente a massa de mil grãos, sendo que a cada quilograma de N fornecido via adubação mineral, houve o aumento de 0,17 g na massa de grãos de milho. O aumento linear em função da aplicação de N demonstrou resultados similares aos de Repke et al. (2013). Vale mencionar a importância do N na formação dos aminoácidos, os quais, por sua vez, produzem proteínas, coenzimas, vitaminas, pigmentos e bases nitrogenadas. Um dos pigmentos gerados a partir desses aminoácidos são as clorofilas. Portanto, doses adequadas de N estimulam a produção de clorofila e outros compostos que aumentam a eficiência fotossintética, aumentando, assim, a quantidade de fotoassimilados produzidos, os quais são transportados e fixados nos grãos, elevando sua matéria seca (Prado, 2008).

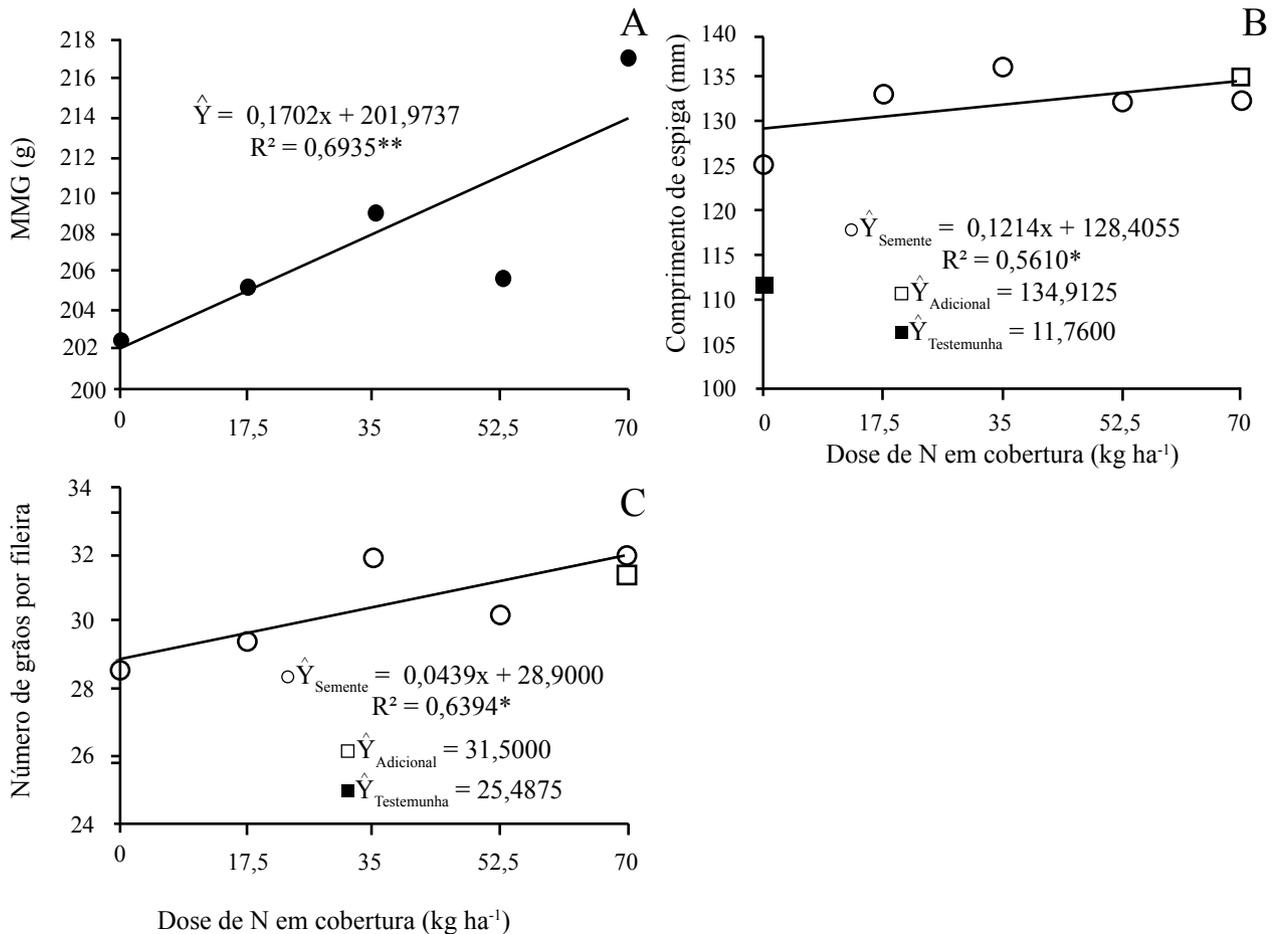


Figura 4. Análise de regressão da massa de mil grãos (MMG) (A), comprimento de espiga (B) e número de grãos por fileira (C), relacionando as doses de N em cobertura com o tratamento de sementes utilizando o *A. brasilense*, comparando com os tratamentos adicionais e testemunha, 2016

*Equação significativa pelo teste F ($p < 0,05$). Coeficientes de variação respectivamente: 4,72%, 5,65% e 6,74%.

Figure 4. A thousand grain regression analysis (MMG) (A), spike length (B) and number of grains per row (C), correlating N rates in cover with seed treatment using *A. brasilense*, comparing with additional treatments and control, 2016

*Significant equation the test F ($p < 0.05$). Coefficients of variation, respectively: 4.72%, 5.65% and 6.74%.

O comprimento de espiga e o número de grãos por fileira também foram componentes produtivos afetados pela interação entre os tratamentos quando a inoculação foi feita via semente, sendo que o efeito das doses de N foi linear tanto para comprimento de espiga quanto para o número de grãos por fileira (Figuras 4B e 4C), porém, para ambas as variáveis, não houve diferença entre os tratamentos com 70 kg ha⁻¹ com e sem a aplicação do *A. brasilense* (Tabela 1), evidenciando que o efeito foi apenas das doses de N e não da bactéria. Resultados semelhantes foram obtidos por Repke et al. (2013) e Müller et al. (2016), os quais verificaram que não houve efeito da aplicação de *A. brasilense* sobre esses componentes produtivos do milho.

Quando a aplicação de *A. brasilense* foi feita no sulco de semeadura (Figuras 4B e 4C), o comprimento de espiga e o número de grãos por fileira não foi afetado pelo efeito das doses de N.

Ao analisar a produtividade de grãos de milho, verifica-se que tanto as doses de N em cobertura quanto as formas de inoculação influenciaram os resultados de forma isolada, também houve interação entre os tratamentos fatoriais, o tratamento adicional e a testemunha. Quanto às doses de N, o milho apresentou produtividade de grãos crescente com o aumento do fornecimento de N mineral, tendo aumento aproximado de 11,26 kg ha⁻¹ na produtividade a cada quilograma de N por hectare adicionado na adubação, independente da aplicação do *A. brasilense* (Figura 5A).

Verifica-se que o milho teve resposta linear, evidenciando a alta exigência nutricional dos novos híbridos lançados no mercado e a necessidade de adequação nas tabelas de recomendação de adubação para a região dos cerrados. Nesse sentido, a resposta linear da produtividade do milho à adubação varia conforme o híbrido, podendo chegar a até 180 kg ha⁻¹ (Repke et al., 2013). Outro fator importante se deu quanto ao resultado da produtividade de grãos, que ficou abaixo do esperado de 8.000 kg ha⁻¹ e acima de 5.110 kg ha⁻¹ que é a média do Estado nos últimos anos (CONAB, 2016a).

A queda da produtividade esperada pode ser explicada pelas condições climáticas no período experimental. Conforme observado na Figura 1, a precipitação durante o ciclo da cultura foi irregular e, no acumulado total, foi de 270,80 mm (Figura 1), valor abaixo do volume de água consumido pela cultura do milho, que está entre 450 a 600 mm por ciclo, sendo necessário o mínimo de 350 mm para que seu rendimento não seja significativamente prejudicado (Fancelli & Dourado Neto, 2000).

As chuvas mais significativas ocorreram nas três primeiras semanas, sendo que, logo após a semeadura, ocorreram chuvas de grande volume (Figura 1), o que provavelmente levou à saturação do solo e à diminuição de ar disponível, possivelmente dificultando a proliferação do *A. brasilense*, bactéria aeróbica. O início do florescimento ocorreu no dia 29 de abril, com redução significativa do volume precipitado após esse período, o que pode ter comprometido sua produtividade.

Ao comparar as formas de inoculação do *A. brasilense*, independente das doses de N, observa-se que a aplicação no sulco de semeadura proporcionou um aumento de 5,52% na produtividade de grãos de milho em relação à inoculação via sementes, o que corresponde a diferença de 5,5 sacas ha⁻¹ (Figura 5B). Esse resultado corrobora os resultados de Müller et al. (2016), que obtiveram incremento de 2% na produtividade quando utilizaram o *A. brasilense* aplicado no sulco de semeadura. Outro fator que pode ter influenciado a resposta do milho à inoculação do *A. brasilense* nas sementes foi a utilização de fungicidas nas sementes, mesmo que a inoculação tenha sido feita após o tratamento destas.

O melhor resultado na aplicação no sulco de semeadura pode estar relacionado à dose do inoculante ser superior à dose via sementes, implicando em maior número de células viáveis por semente. Logo, sugere-se que estudos em relação à dose do inoculante sejam feitos com a finalidade de indicar a melhor para cada tipo de aplicação.

Na comparação de todos os tratamentos do arranjo fatorial com a testemunha (0,0 kg ha⁻¹ de N e sem fornecimento de *A. brasilense*) e com o tratamento adicional (70 kg ha⁻¹ de N e sem fornecimento de *A. brasilense*), observou-se que todas as doses a partir de 35 kg ha⁻¹ de N associadas à aplicação de *A. brasilense* no sulco de semeadura proporcionaram produtividade de grãos de milho maiores que a testemunha e o tratamento adicional (Figura 5C). Entretanto, quando a bactéria foi inoculada via semente, houve apenas uma resposta além da obtida pela testemunha e o tratamento adicional quando associada à dose de 70 kg ha⁻¹ de N. Destaca-se que tanto a inoculação via sulco de semeadura quanto via sementes, a dose padrão de 70 kg ha⁻¹ de N em cobertura associada ao fornecimento de *A. brasilense* proporcionou maior produtividade de grãos de milho, demonstrando a eficiência da bactéria para economia de adubo nitrogenado nessa cultura.

Os resultados encontrados corroboram os de Bartchechen et al. (2010), que obtiveram resposta parecida com a utilização do *A. brasilense*. Nesse caso, quando comparado os tratamentos inoculados e sem utilização da adubação com N com a testemunha, o rendimento foi 12,9% maior. Em contrapartida, quando comparado os tratamentos com e sem o *A. brasilense* na dose máxima de N, não houve interferência na produtividade.

Por fim, conforme os dados da Conab (2016b) e Imea (2016) (Figura 6), a produtividade obtida, os custos de produção e o lucro bruto para o rendimento obtido do milho por hectare nos tratamentos realizados, observou-se que a associação do *A. brasilense* no tratamento de sementes e dose de N de 52,5 kg ha⁻¹ em adubação de cobertura proporcionaram o menor custo de produção dentre os tratamentos que se sobressaíram, sendo este de R\$ 2.130,07 (dois mil cento e trinta reais e sete centavos). Valendo destacar que a aplicação do inoculante no sulco de semeadura associado a doses de 35,0 kg ha⁻¹ de N em cobertura, apresentou maior diferença entre o custo de produção e lucro bruto, sendo este de R\$ 400,94 (quatrocentos reais e noventa e quatro centavos).

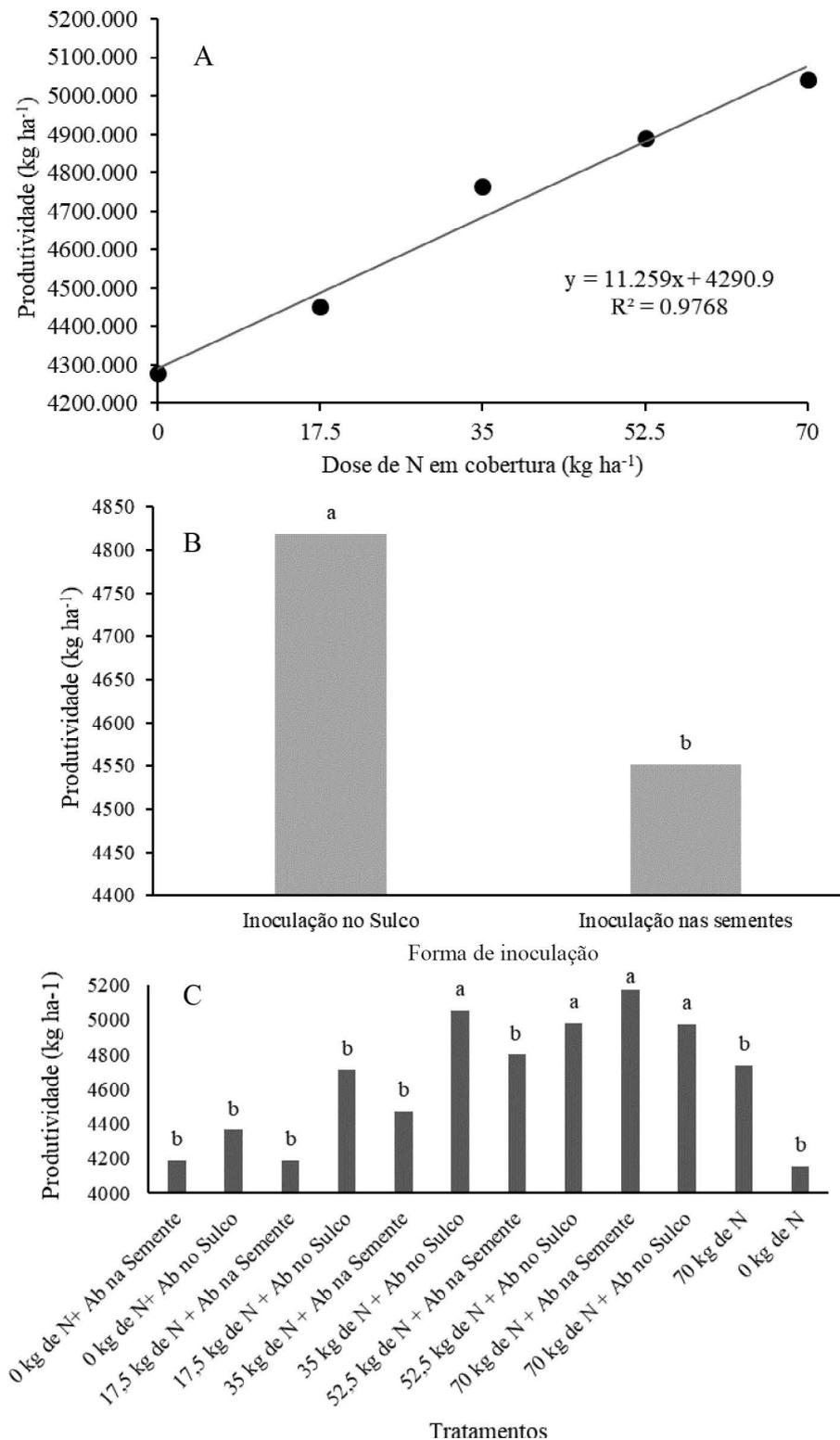


Figura 5. Análise de regressão da produtividade em relação às doses de N em cobertura (A), médias da produtividade em relação às formas de inoculação (B) e produtividade dos tratamentos comparando-os com o tratamento adicional e testemunha (C), 2016 **Equação significativa pelo teste F ($p < 0,01$).

*Significativa pelo teste Tukey ($p < 0,05$). **Significativa pelo teste Dunnett ($p < 0,01$). Coeficientes de variação respectivamente: 11,49 e 11,34% para as variáveis B e C.

Figure 5. Productivity regression analysis in relation to N rates in coverage (A), productivity means in relation to inoculation forms (B), productivity of treatments comparing those with the additional treatment and control (C), 2016 **Significant equation by F test ($p < 0.01$).

* Significant by Tukey test ($p < 0.05$). **Significant by the Dunnett test ($p < 0.01$). Variation coefficients, respectively: 11.49 and 11.34% for variables B and C

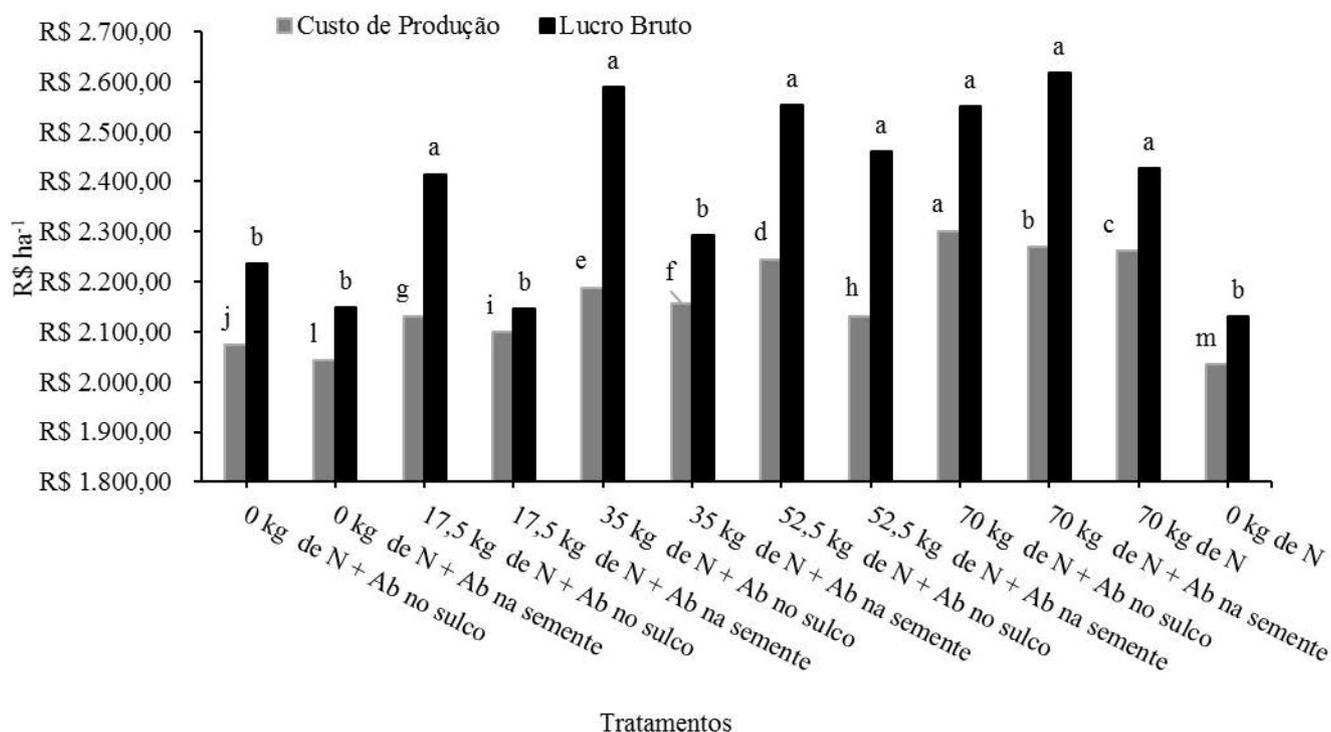


Figura 6. Teste de médias da relação entre custo de produção e lucro bruto de cada tratamento, 2016 Significativo pelo teste Tukey ($p < 0,05$). Coeficientes de variação, respectivamente: 0,00% e 11,34%.

Figure 6. Test of averages of the relationship between cost of production and gross profit of each treatment, 2016 Significant the Tukey test ($p < 0,05$). Coefficients of variation respectively: 0.00% and 11.34%.

4 Conclusão

A inoculação de *Azospirillum brasilense* eleva a produtividade da cultura do milho, mas não é capaz de substituir a adubação nitrogenada.

A inoculação em sulco, conjugada com a dose de nitrogênio de 35,0 kg ha⁻¹ em cobertura é a combinação mais indicada por apresentar menor custo-benefício.

Referências

- BARTCHECHEN, A.; FIORI, C. C. L.; WATANABI, S. H.; GUARIDO, R. C.; Efeito da inoculação de *Azospirillum brasilense* na produtividade da cultura do milho (*Zea mays* L). *Campo Digital*, Campo Mourão, v. 5, n. 1, p. 56-59, 2010.
- CONAB. *Séries históricas*. Disponível em: <http://bit.ly/2TBBV7q>. Acesso em: 6 out. 2016.
- CONAB. *Insumos agropecuários* Disponível em: <http://bit.ly/2TAtGsf>. Acesso em: 20 ago. 2016.
- CONAB. *Preços médios semanais*. Disponível em: <http://bit.ly/2u5PexS>. Acesso em: 20 ago. 2016.
- EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. *Produção de milho*. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.
- FERREIRA A. O.; SÁ J. C. M.; BRIEDIS C.; FIGUEIREDO A. G. de; Desempenho de genótipos de milho cultivados com diferentes quantidades de palha de aveia-preta e doses de nitrogênio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 44, n. 2, p. 173-179, 2009. doi: 10.1590/S0100-204X2009000200009
- IMEA. *Custo de produção do milho*: Disponível em: <http://bit.ly/2FaOrSt>. Acesso em: 20 ago. 2016.
- KAPPES, C.; ARF, O.; ARF, M. V.; FERREIRA, J. P.; BEM, E. A. D.; PORTUGAL, J. R., VILELA, R. G. Inoculação de sementes com bactéria diazotrófica e aplicação de nitrogênio em cobertura e foliar em milho. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 34, n. 2, p. 527-538, 2013. doi: 10.5433/1679-0359.2013v34n2p527
- KUSS, A. V.; KUSS, V. V.; LOVATO, T.; FLÔRES, M. L. Fixação de nitrogênio e produção de ácido indolacético in vitro por bactérias diazotróficas endofíticas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 42, n. 10, p. 1459-1465, 2007. doi: 10.1590/S0100-204X2007001000013
- MARTINS, F. A. D.; ANDRADE A. T.; CONDÉ, A. B. T.; GODINHO D. B.; CAIXETA, C. G.; COSTA, R. L.; POMELA, A. W. V.; SOARES, C. M. S. Avaliação de híbridos de milho inoculados com *Azospirillum brasilense*. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, Porto Alegre, v. 18, n. 2, p. 113-128, 2012. doi: 10.18512/rbms.v15i3.587
- MÜLLER, T. M.; SANDINI, I. E.; RODRIGUES, J. D.; NOVAKOWISKI, J. H.; BASI, S.; KAMINSKI, T. H.; Combination of inoculation methods of *Azospirillum brasilense* with broadcasting of nitrogen fertilizer increases corn yield. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 46, n. 2, p. 210-215, 2016. doi: 10.1590/0103-8478cr20131283
- PANDOLFO, C.M.; VOGT, G.A.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; GALLOTTI, G.J.M. ZOLDAN, S. R. Desempenho de milho inoculado

com *Azospirillum brasilense* associado a doses de nitrogênio em cobertura. *Agropecuária Catarinense*, Florianópolis, v. 27, n. 3, p. 94-99, 2015.

PRADO, R. M. *Nutrição de plantas*. São Paulo: Unesp, 2008. 408 p.

QUADROS, P. D. de; ROESCH, L. F. W.; SILVA, P. R. F. da; VIEIRA, V. M.; ROEHRS, D. D.; CAMARGO, F. A. de O. Desempenho agrônomo a campo de híbridos de milho inoculados com *Azospirillum*. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 61, n. 2, p. 209-218, 2014. doi: 10.1590/S0034-737X2014000200008

RADWAN, T. E. E.; MOHAMED, Z. K.; REIS, V. M. Efeito da inoculação de *Azospirillum* e *Herbaspirillum* na produção de compostos indólicos em plântulas de milho e arroz. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 39, n. 10, p. 987-994, 2004.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. *Biologia vegetal*. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 2007. 830 p.

REPKE, R. A.; CRUZ, S. J. S.; SILVA, C. J. da; FIGUEIREDO, P. G.; BICUDO, S. J. Eficiência da *Azospirillum brasilense* combinada

com doses de nitrogênio no desenvolvimento de plantas de milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, Belo Horizonte, v.12, n. 3, p. 214-226, 2013. doi: 10.18512/1980-6477/rbms.v12n3p214-226

SILVA, F. C. da (ed.). *Manual de análise química de solos, plantas e fertilizantes*. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2009.

SILVA E. C. da; MURAOKA, T.; VILLANUEVA, F. C. A.; ESPINAL, F. S. C. Aproveitamento de nitrogênio pelo milho, em razão da adubação verde, nitrogenada e fosfatada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 44, n. 2, p. 118-127, 2009.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E (ed.). *Cerrado: correção do solo e adubação*. 2. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2004.

ZILLI, J. E.; GIANLUPPI, V.; CAMPO, R. J.; ROUWS, J. R. C.; HUNGRIA, M.; Inoculação da soja com *Bradyrhizobium* no sulco de semeadura alternativamente à inoculação de sementes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 34, p. 1875-1881, 2010.

Contribuição dos autores: Rodrigo Cardoso Moreira realizou o trabalho de campo e a escrita científica; Franciele Caroline de Assis Valadão ajudou com a revisão bibliográfica, correção ortográfica e a escrita científica; Daniel Dias Valadão Júnior contribuiu com a escrita científica, com o experimento a campo e formatação final.

Agradecimentos: Ao Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia (IFMT) *campus* Campo Novo do Parecis, MT, e à Sólida Insumos Agrícolas pelo apoio.

Fontes de Financiamento: Não houve fonte de financiamento.

Conflito de Interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.