



# Contribuição do *Azospirillum brasilense* na adubação nitrogenada para a cultura do milho em sucessão à cultura da soja

Bruno Silva Pires<sup>1</sup>; Franciane Diniz Cogo<sup>2</sup>; Felipe Duarte Praxedes Silva<sup>3</sup>; Gabriel Coletti<sup>4</sup>

<sup>1</sup> UEMG unidade Passos, Professor Efetivo. bruno.pires@uemg.br

<sup>2</sup> UEMG unidade Passos, Professora Efetiva. franciane.diniz@uemg.br

<sup>3</sup> Engenheiro Agrônomo. felipeduartepraxedes@gmail.com

<sup>4</sup> UEMG unidade Passos, Discente do curso de Agronomia. gabriel.2198365@discente.uemg.br

Recebido em: 13/03/2023

Aceito em: 26/09/2023

## Resumo

O milho possui grande relevância para o agronegócio brasileiro, sendo o segundo grão mais produzido no país. Para se alcançarem altas produtividades, é necessária a fertilização das lavouras, principalmente com nitrogênio. Objetivou-se avaliar a contribuição de *Azospirillum brasilense* para maximizar a utilização de nitrogênio pela cultura do milho após o cultivo de soja. O trabalho foi realizado na Fazenda Experimental da Universidade do Estado de Minas Gerais, unidade Passos. O experimento consistiu no plantio do milho após o cultivo da soja, com delineamento experimental em faixas e parcelas subdivididas, sendo duas faixas: uma recebeu a inoculação de *Azospirillum brasilense* na semente, e a outra sem o inoculante. Cada faixa foi dividida em 24 parcelas de 18 m<sup>2</sup>, que receberam doses de nitrogênio na forma de ureia (0, 10, 35, 70, 140 e 210 kg ha<sup>-1</sup> de N), em quatro repetições. Não houve diferença estatística para a inoculação de sementes. O tratamento isento de adubação nitrogenada química teve os mesmos resultados das parcelas que receberam adubação nitrogenada, o que pode ser explicado pelo nitrogênio deixado pelo cultivo anterior da soja e/ou pelo efeito do *Azospirillum brasilense*.

**Palavras-chave:** *Azospirillum brasilense*. Gramínea. Nitrogênio.

## Introdução

Por toda a extensão global, o milho é considerado uma das plantas mais cultivadas, com elevada versatilidade, inúmeras utilizações e subprodutos. A produção desse cereal é de extrema relevância socioeconômica, já que está presente na alimentação animal e humana, representando matéria prima para a indústria e sendo utilizado amplamente na gastronomia brasileira (RODRIGUES et al., 2018).

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2021), na safra 2020/2021, o país produziu 85,7 milhões de toneladas do grão, sendo um volume 16,4% menor do que na safra 2019/2020, em que foram produzidos 102,5 milhões de toneladas. Diante dos dados, torna-se evidente a importância do milho como cultura de segunda safra, geralmente plantada após a safra da soja.

Para a obtenção de altas produtividades, há a necessidade de se incrementar a fertilidade do solo com os macro e micronutrientes essenciais para o ciclo vegetativo e reprodutivo das culturas. A natureza segue a Lei do Mínimo, proposta por Liebig no século XIX, segunda a qual o desenvolvimento de uma planta é limitado pela falta de um único nutriente, mesmo que todos os demais estejam equilibrados. A deficiência de nitrogênio, por ser o nutriente mais exigido na grande maioria das culturas, frequentemente é fator limitante na produção dos grãos (SBCS, 2017).

O nitrogênio (N) é responsável por inúmeros processos fisiológicos que ocorrem nos vegetais, tais como a absorção iônica de nutrientes distintos, o crescimento e desenvolvimento radicular e aéreo, a respiração e a fotossíntese. Por ser parte constituinte de aminoácidos e proteínas, o

N é encontrado em compostos essenciais, como os ácidos nucleicos (DNA e RNA) e as bases nitrogenadas, que também são conhecidas como nucleobases (pirimidinas e purinas), clorofila e citocromos (LEMOS et al., 2013).

Segundo Cruz et al. (2008), N é o nutriente mais exportado pela cultura do milho durante seu ciclo. A deficiência desse nutriente é refletida nas folhas velhas, sendo o amarelecimento o principal sintoma, em que a planta perde a coloração verde intensa característica de uma planta vigorosa (NOVAIS et al., 2007).

De acordo com Malavolta et al. (2002), o fornecimento químico de N para as plantas se dá por meio de fertilizantes minerais que podem ser sintéticos, naturais ou inorgânicos. Sua absorção ocorrerá durante quase todo o ciclo de vida da planta, havendo redução no final do enchimento de grão e quando começa a senescência foliar (RIVERA, 2006). Por outro lado, o produtor pode optar por reduzir a utilização de adubos químicos e passar a utilizar adubos orgânicos ou adubação verde. Essas alternativas de fertilizantes, além de fornecerem os nutrientes para as plantas, promovem incremento de matéria orgânica que eleva a fertilidade do solo (MALAVOLTA et al., 2002). Santos et al. (2007) complementam que o uso contínuo de adubações alternativas promove a melhoria da fertilidade do solo, podendo até substituir a adubação química.

Outra forma de fornecer N para as plantas é por meio de bactérias associativas pertencentes aos gêneros *Azotobacter* e *Azospirillum*, que promovem a fixação do N<sub>2</sub>, porém parte do N fixado por elas não é disponibilizado para as plantas, devido ao fato de a associação não ser muito íntima e essas bactérias serem de vida livre, o que faz com que parte do N fixado acabe se transformando e/ou se tornando indisponível durante o percurso do solo até as raízes. Dessa forma, as bactérias são capazes de contribuir para a nutrição da planta disponibilizando N,

mas não de suprir totalmente sua demanda (HUNGRIA, 2011).

As espécies de bactérias *Azospirillum brasilense*, quando na rizosfera do milho, possuem a capacidade de transformar o N<sub>2</sub> em nitrogênio mineral e liberam compostos que estimulam o crescimento radicular, permitindo ampliar o volume de solo explorado pela raiz e, conseqüentemente, absorvendo mais água e nutrientes, além de induzir a resistência das plantas (LÓPEZ; HERRERA, 2017).

Dada a essencialidade da utilização dos adubos nitrogenados para a produção agrícola, objetivou-se avaliar a utilização do *Azospirillum brasilense* com potencial de disponibilizar N<sub>2</sub> do ar atmosférico de forma natural e eficaz para a cultura do milho.

## Material e métodos

O estudo foi realizado na Fazenda da Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), Unidade Passos, no sudoeste de Minas Gerais (latitude: -20.7453°; longitude: -46.6339°) e em altitude de 780 m. O clima da região, de acordo com o sistema de Köppen, é tipo Cwa – clima subtropical/tropical de altitude, com inverno seco e verão chuvoso (ALVARES et al., 2013).

O experimento é relativo às safras 2019/2020 e 2020/2021. Cada safra foi iniciada com o cultivo da soja e, em sucessão, o de milho. O solo foi classificado como LATOSSOLO vermelho-amarelo distrófico de textura média (PIRES et al., 2012). Antes dos cultivos, o solo foi amostrado na profundidade de 0 a 20 cm, para o primeiro cultivo convencional, e 0 a 10 cm, para os cultivos em sistema de plantio direto, para realização de análises químicas.

A amostragem do solo foi composta por dez pontos coletados aleatoriamente (amostras simples) em zigue-zague na área de plantio. Ao final da coleta, formou-se uma amostra composta.

## **Cultivo I: Fixação biológica de nitrogênio e produção de palhada para plantio direto**

Nas duas safras avaliadas, o primeiro cultivo foi desenvolvido em área de 1.008 m<sup>2</sup>, sob sistema convencional, com a cultura da soja (*Glycine max* L.). As sementes foram inoculadas com bactérias da espécie *Bradyrhizobium japonicum* antes da semeadura. Este cultivo teve como objetivo a fixação biológica de N pela cultura e a produção de palhada para cultivo subsequente do milho no sistema de plantio direto, sendo calculada a produtividade da área.

No início do cultivo, realizou-se o preparo do solo por meio de uma aração profunda, entre 25 e 35 cm, seguida de gradagens niveladoras, até que o solo ficasse propício para a realização da semeadura.

A calagem do solo foi realizada antes de iniciar a aração, para que pudesse incorporar o calcário ao perfil trabalhado, objetivando elevar a porcentagem de saturação de bases para 60%. Antes da última gradagem niveladora, realizou-se a adubação de semeadura com as quantidades recomendadas para a cultura da soja (RIBEIRO et al., 1999), que foram equivalentes a: 153,8 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato monoamônico (MAP) e 133,3 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio (KCl).

A semeadura foi realizada com semeadora pneumática de sete linhas, com espaçamento entre linhas de 0,5 m, e regulada para distribuir 13 sementes por metro linear para cultivar Monsoy 7739. A colheita da soja foi realizada 115 dias após a semeadura, ocasião em que a umidade do grão atingiu valores próximos de 13 a 15%.

## **Cultivo II: Efeito das doses de nitrogênio e inoculação com *Azospirillum brasilense* na produtividade do milho**

O segundo cultivo, nas duas safras avaliadas, foi realizado em área de 810 m<sup>2</sup>, sendo a cultura do milho semeada no sistema de plantio direto, sob os restos culturais do cultivo da soja. Foi

adotado delineamento de faixas com parcelas subdivididas, em que, no âmbito das parcelas, foram consideradas as faixas de plantio com e sem a inoculação das sementes com a bactéria *Azospirillum brasilense*, e, para as subdivisões, seis doses diferentes de adubação nitrogenada de cobertura (0, 10, 35, 70, 140 e 210 kg ha<sup>-1</sup> de N), com quatro repetições. O inóculo bacteriano *A. brasilense* foi adicionado às sementes antes da semeadura, conforme a recomendação do fabricante.

Cada parcela foi composta por sete linhas de plantio com 4,5 m de comprimento e 0,5 m de espaçamento entre linhas. Para as avaliações, foram utilizadas as três linhas centrais, excluindo-se 0,75 m das extremidades da parcela, totalizando 9 m lineares de parcela útil.

A adubação de plantio e a correção do solo, conforme recomendação de Ribeiro et al. (1999), foram aplicadas a lanço antes de se realizar o plantio com a semeadora mecânica. A dose recomendada foi de 153,8 kg ha<sup>-1</sup> de MAP e 100 kg ha<sup>-1</sup> de KCl, sendo o KCl parcelado em duas aplicações, e a segunda aplicada juntamente com a adubação nitrogenada de cobertura.

A adubação de cobertura foi realizada em duas aplicações com ureia (45% de N), seguindo as recomendações de Gott et al. (2014) – a primeira no estágio V3 (estágio vegetativo de três folhas) com metade da dose recomendada, e no estágio V8 se realizou o restante da adubação – relativas às diferentes adubações nitrogenadas de cobertura dos tratamentos descritos anteriormente.

A semeadura no primeiro ano de cultivo foi realizada utilizando o milho híbrido AG 8740 PRO3 com uma semeadora pneumática de sete linhas, com espaçamento entre linhas de 0,5 m e regulada para distribuir quatro sementes viáveis por metro linear. No segundo ano, utilizando a mesma metodologia, foi semeado o milho híbrido SHS 7990.

Visando a nutrição equilibrada da planta, realizou-se a aplicação foliar do fertilizante organomineral Torped Gold na dose de 1,5 L ha<sup>-1</sup>, dividindo-se em duas aplicações, a primeira cerca de 30 dias após a emergência, e a segunda antes da emissão da inflorescência masculina (pendão).

As avaliações de desenvolvimento, como altura das plantas e diâmetro do colmo, foram realizadas a partir da primeira adubação de cobertura nitrogenada até o momento da inflorescência masculina (pendoamento). A medição da altura da planta foi realizada com o auxílio de uma trena milimétrica desde o nível do solo até a inserção da folha bandeira; já o diâmetro do colmo foi aferido rente ao solo utilizando um paquímetro.

A medida da altura de inserção da espiga foi realizada no momento da colheita com o auxílio de uma trena milimétrica, bem como realizou-se a contagem do número de espigas por planta.

Quanto ao teor de N foliar, monitorou-se o momento em que a área de plantio estivesse com 50 a 75% das plantas com a inflorescência feminina (boneca/espiga) produzida e os estilo-estigmas expostos. Com uma tesoura, foi coletada a folha abaixo e oposta à inserção da espiga, sendo utilizado apenas o terço central da folha, descartando sua nervura.

A colheita foi realizada a partir do momento em que o grão alcançou a maturidade fisiológica, com teor de umidade média de 18 a 20%. Após as espigas terem sido colhidas, foram realizadas as seguintes avaliações pós-colheita: diâmetro da espiga, comprimento, número de fileiras, número de grãos por espiga, massa de 100 grãos e produtividade.

Para a realização das medidas citadas, realizou-se amostragem com cinco espigas e, ao final, calculou-se a média para cada parcela. Com o auxílio de um paquímetro, determinou-se o diâmetro da espiga e, com uma régua

milimetrada, aferiu-se o comprimento desta. Antes da debulha, contaram-se quantas fileiras estavam contidas nas espigas.

Realizou-se a pesagem de 100 grãos de milho e a produtividade alcançada por cada parcela de cultivo a uma umidade de 13%, extrapolando para o hectare.

Na segunda safra (2020/2021), houve coleta da amostra do solo em dois pontos em cada parcela de cultivo, que, após serem homogeneizadas, foram devidamente identificadas e enviadas ao laboratório para realização de análise química de fertilidade do solo, visando avaliar o efeito dos restos vegetais da primeira safra na fertilidade do solo.

As médias foram avaliadas pelos testes de normalidade dos erros por meio do teste de Shapiro-Wilk. Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas entre si pelo teste F ao nível de 5% de significância, e, quando significativo, foi aplicado o teste Scott-Knott utilizando-se o software AgroEstat (BARBOSA; MALDONADO, 2014).

## Resultados e discussão

Não houve interações significativas entre a inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense* e as diferentes doses de adubação nitrogenada aplicadas em cobertura para todas as variáveis avaliadas. No entanto, para a grande maioria das características, foram observados efeitos significativos para as doses de adubação nitrogenada e/ou inoculação com *Azospirillum brasilense*, sendo cada um destes fatores analisados e discutidos separadamente.

O desenvolvimento vegetativo em função das variáveis de altura da planta (AP), diâmetro do colmo (DC) e altura de inserção da espiga (AIE) é apresentado na Tabela 1. Não houve diferença estatística para estas variáveis, nem

para as doses de N avaliadas nos dois anos de cultivo. Para o DC, Bassetto Junior et al. (2020) e Araújo (2014) também não encontraram diferença estatística, mas Bassetto Junior et al. (2020) e Debastiani (2016) encontraram diferença significativa para AP e AIE de milho, divergindo dos resultados encontrados neste estudo. Picazevicz (2017), trabalhando com milho em casa de vegetação, mencionou que *Azospirillum brasilense* atua na elevação de crescimento vegetativo, resultado da liberação de fitormônios, tais como giberelinas, auxinas e citocininas, não confirmada no presente trabalho.

Em relação à variável AIE, a falta de efeitos da inoculação e das doses pode ser considerada um aspecto positivo. Kappes et al. (2013) relataram que plantas com maior AIE são mais propícias ao tombamento, pois ao final do ciclo as plantas que alcançam valor elevado de massa em sua parte superior, quando somada à espiga, podem tombar com maior facilidade. Os autores apoiam a ideia de que a parte superior da planta de milho ao final de seu ciclo chega a uma relação aproximada de 50% de sua massa.

O DC obtido nas medições alcançou resultados semelhantes aos encontrados por Besen et al. (2020), que não observaram

diferença estatística entre os tratamentos submetidos à inoculação da bactéria *Azospirillum brasilense*. Isso sustenta a teoria de Mauri, Bellaver e Richart (2020), que relataram que tais fatores têm relação direta com a genética do material utilizado, tendo pouca relação com a variação de adubação de cobertura aplicada. Kappes et al. (2013) correlacionaram o DC com o acamamento, e afirmaram que diâmetros superiores proporcionam plantas mais vigorosas e resistentes ao acamamento.

Nos dois anos de cultivo, o número de fileiras (NF) por espigas não teve diferença significativa para inoculação nem para as doses avaliadas (Tabela 2), corroborando os estudos de Bassetto Junior et al. (2020) e Tomazela (2005). Pereira et al. (2021) salientaram que essa variável analisada pode ter relação direta com a genética do material utilizado para cultivo, portanto, como o ambiente foi o mesmo para todos os tratamentos, não se observou diferença estatística.

O teste de agrupamento de médias aplicado para as variáveis pós-colheita dos dois anos de cultivo – comprimento de espiga (CE), diâmetro de espiga (DE), massa de 100 grãos (MCG) e grãos por espiga (GPE) – estão apresentados

**Tabela 1.** Efeito da inoculação via sementes com *Azospirillum brasilense* e ano safra para as variáveis diâmetro do colmo (DC), altura da planta (AP) e altura de inserção da espiga (AIE). Passos, MG.

2019/2020	DC (cm)	AP (cm)	AIE (cm)	2020/2021	DC (cm)	AP (cm)	AIE (cm)
Não inoculado	2,8 a	171,3 a	87,8 a	Não inoculado	2,4 a	167,6 a	98,3 a
Inoculado	2,9 a	169,6 a	85,4 a	Inoculado	2,3 a	183,8 a	94,5 a
	DC	AP	AIE		DC	AP	AIE
Dose 0	3,0 a	183,4 a	84,7 a	Dose 0	2,4 a	183,6 a	96,6 a
Dose 1	2,6 a	154,4 a	74,7 a	Dose 1	2,2 a	166,6 a	96,4 a
Dose 2	2,7 a	146,7 a	84,2 a	Dose 2	2,3 a	162,2 a	90,1 a
Dose 3	2,9 a	176,5 a	87,7 a	Dose 3	2,3 a	179,2 a	97,9 a
Dose 4	2,7 a	182,4 a	90,7 a	Dose 4	2,5 a	186,0 a	98,7 a
Dose 5	2,9 a	179,4 a	97,2 a	Dose 5	2,3 a	176,5 a	98,6 a
CV (%)	10,2	23,8	17,7		9,9	27,7	7,8

Médias nas colunas seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de significância.

**Tabela 2.** Efeito da inoculação via sementes com *Azospirillum brasilense* e ano safra para a variável número de fileiras (NF). Passos, MG.

2019/2020	NF	2020/2021	NF
Não inoculado	14,7	Não inoculado	14,6
Inoculado	14,6	Inoculado	14,5
2019/2020	NF		NF
Dose 0	14,1	Dose 0	14,5
Dose 1	15,1	Dose 1	14,4
Dose 2	14,7	Dose 2	14,4
Dose 3	14,5	Dose 3	14,9
Dose 4	14,6	Dose 4	14,5
Dose 5	14,7	Dose 5	14,7
CV (%)	5,3		8,4

na Tabela 3. Foi observada diferença estatística apenas no primeiro ano do estudo para a maioria das variáveis, seja para a inoculação com *Azospirillum* ou para as doses nitrogenadas aplicadas em cobertura.

No primeiro ano de avaliações, não houve diferença significativa para o DE e GPE entre as plantas inoculadas com *Azospirillum*. Esses resultados são parcialmente contraditórios aos encontrados por Silva Junior, Freitas e Resende (2021) e Silva et al. (2020), que na ocasião

não encontraram uma diferença expressiva que representasse um incremento pela inoculação de bactérias do gênero *Azospirillum*.

Contudo, no segundo ano de cultivo não se obteve diferença estatística para a inoculação, para as doses nem para a interação desses dois fatores. Parte desses resultados corroboram o que Mauri, Bellaver e Richart (2020) encontraram em seus trabalhos ao avaliar CE e NF, não observando diferenças significantes.

Esperava-se que a MCG atingisse valores mais elevados para as parcelas que receberam maiores doses de adubação nitrogenada, conforme Kotowski (2015), entretanto isso não ocorreu. Souza e Pires (2013) salientaram que essa variável pode ter relação direta com a adubação nitrogenada, elevando seu potencial produtivo, desde que não haja nenhum fator distinto que a possa influenciar negativamente, não permitindo à planta exprimir tal potencial.

Os valores da produtividade do milho obtidos nos dois anos cultivados estão apresentados na Tabela 4. Na safra de 2019/2020, observou-se diferença estatística tanto para inoculação quanto para doses de N. As parcelas que receberam a inoculação alcançaram produtividade superior às

**Tabela 3.** Efeito da inoculação via sementes com *Azospirillum brasilense* e ano safra para as variáveis comprimento de espiga (CE), diâmetro de espiga (DE), massa de 100 grãos (MCG) e grãos por espiga (GPE). Passos, MG.

2019/2020	CE	DE	MCG	GPE	2020/2021	CE	DE	MCG	GPE
Não inoculado	14,1 b	4,4 a	30,7 b	307,8 a	Não inoculado	12,3 a	4,2 a	22,4 a	284,0 a
Inoculado	15,0 a	4,5 a	37,1 a	303,7 a	Inoculado	12,3 a	4,2 a	21,8 a	285,2 a
	CE	DE	MCG	GPE		CE	DE	MCG	GPE
Dose 0	13,6 b	4,3 b	29,2 c	283,8 b	Dose 0	11,8 a	4,1 a	21,4 a	296,0 a
Dose 1	15,1 a	4,5 a	41,7 a	257,8 b	Dose 1	11,4 a	4,0 a	21,2 a	252,9 a
Dose 2	13,5 b	4,3 b	29,2 c	277,9 b	Dose 2	12,5 a	4,2 a	22,7 a	268,1 a
Dose 3	15,3 a	4,5 a	35,0 b	324,5 a	Dose 3	12,0 a	4,2 a	21,0 a	282,9 a
Dose 4	14,7 a	4,6 a	30,8 c	351,2 a	Dose 4	13,0 a	4,3 a	23,2 a	293,1 a
Dose 5	15,2 a	4,6 a	37,5 b	339,0 a	Dose 5	13,0 a	4,3 a	22,5 a	314,5 a
CV (%)	5,4	3,4	13,1	12,8		10,7	5,0	8,6	16,2

Médias nas colunas seguidas por letras diferentes diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de significância.

não inoculadas, da mesma forma como Kappes et al. (2013) observaram em seu trabalho. Albuquerque et al. (2013) afirmaram que as bactérias promovem efeito benéfico nas plantas, atuando como estimulante no sistema radicular da cultura, de modo que a absorção de nutrientes aumente sua capacidade produtiva máxima. Os ganhos produtivos resultantes da inoculação com bactérias do gênero *Azospirillum brasilense* diferem dos resultados de Silva Junior, Freitas e Rezende (2021) e Moreira, Valadão e Valadão Junior (2018), que não encontraram diferença estatística para os tratamentos com inoculação do *A. brasilense* via semente, o que corrobora os resultados obtidos no segundo ano de cultivo do presente estudo.

Em relação às doses nos dois anos de cultivo, os resultados foram similares aos alcançados pelo estudo de Mumbach et al. (2017), em que as maiores doses de fertilizantes nitrogenados aplicados via solo propiciaram maiores produtividades, reforçando assim a resposta da planta ao N no aumento de produtividade (MALAVOLTA, 2006; DINIZ, 2009).

Esses resultados contrariam parcialmente a proposta levantada por Besen et al. (2019), a de que a produtividade possui relação direta

com o CE, pois maiores valores dessa variável representariam maiores produtividades, o que não ocorreu no segundo ano de avaliações neste experimento, quando se obteve diferença estatística da produtividade (Tabela 4) e os valores de CE permaneceram os mesmos (Tabela 3).

No segundo ano de cultivo, notou-se que a produtividade da testemunha (dose 0) foi igual às parcelas que receberam as maiores doses de adubação nitrogenada (Tabela 4). Isso demonstra que pode ter havido efeito dos teores elevados de alguns nutrientes encontrados no solo, já que as quantidades de fósforo (P) e magnésio (Mg), nas parcelas que correspondiam à testemunha, se encontravam superiores na análise estatística dos resultados da análise de solo (Tabela 5).

De acordo com Karam, Melhorança e Oliveira (2006), a cultura do milho extrai em maiores quantidades os nutrientes nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e fósforo (P). Coincidentemente, excluindo o Ca, os valores determinados de todos os demais nutrientes obtiveram maiores teores no solo na parcela testemunha, o que confirma a hipótese da elevação na produtividade desse tratamento sem adubação de cobertura, devido ao alto teor

**Tabela 4.** Efeito da inoculação via sementes com *Azospirillum brasilense* e ano safra para a variável produtividade. Passos, MG.

2019/2020	Produtividade (kg/ha)	2020/2021	Produtividade (kg/ha)
Não inoculado	5.690,2 b	Não inoculado	3.806,6 a
Inoculado	6.660,8 a	Inoculado	3.715,3 a
2019/2020	Produtividade (kg/ha)	2020/2021	Produtividade (kg/ha)
Dose 0	4.968,2 c	Dose 0	3.821,5 a
Dose 1	6.391,9 b	Dose 1	3.168,8 b
Dose 2	4.771,2 c	Dose 2	3.624,8 b
Dose 3	6.794,5 b	Dose 3	3.583,3 b
Dose 4	6.474,5 b	Dose 4	4.106,8 a
Dose 5	7.652,6 a	Dose 5	4.260,4 a
CV (%)	15,6		16,5

Médias nas colunas seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de significância.

**Tabela 5.** Efeito do resultado da análise de solo e da produtividade do milho na segunda safra em função da inoculação com *Azospirillum brasilense* e das doses de N. Passos, MG.

2019/2020	Produtividade (kg/ha)	P (mg/dm <sup>3</sup> )	K (mmolc/dm <sup>3</sup> )	Mg (mg/dm <sup>3</sup> )	S (mmolc/dm <sup>3</sup> )
Dose 0	3.821,5 a	6,2 a	53,5 a	36,9 a	69,5 a
Dose 1	3.168,8 b	4,9 b	25,7 b	13,0 b	42,6 b
Dose 2	3.624,8 b	5,1 b	37,0 b	17,4 b	52,6 b
Dose 3	3.583,3 b	5,0 b	35,6 b	16,2 b	49,9 b
Dose 4	4.106,8 a	5,5 b	47,6 a	23,7 b	62,9 a
Dose 5	4.260,4 a	5,4 b	45,5 a	24,0 b	59,5 a
CV (%)	16,5	11,5	42,8	54,1	29,8

Médias nas colunas seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de significância.

de nutrientes no solo. Outra hipótese que foi levantada se refere à baixa extração/expoção que as parcelas testemunhas promoveram no primeiro ano de cultivo, devido a uma menor produtividade (Tabela 4), dessa forma deixando a fertilidade delas mais elevada para o ano subsequente.

Os teores dos elementos potássio (K), enxofre (S), boro (B), ferro (Fe) e zinco (Zn) nas folhas não foram diferentes estatisticamente (Tabela 6). Em contrapartida, os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu) e manganês (Mn) mensurados nas diferentes parcelas alcançaram diferença significativa (Tabela 7).

Os teores de N foliar determinados (Tabela 7) resultaram em uma relação direta com as diferentes adubações nitrogenadas via solo que foram fornecidas no cultivo, ou seja, à medida que as doses de fertilizante foram elevadas, elevaram-se também os teores de N foliar, estando de acordo com Muller (2013). Ferreira (2017) também encontrou relação entre dose de adubo nitrogenado aplicado via solo e os teores de N extraídos dos tecidos foliares. Os teores de N encontrados nas folhas (Tabela 7), apesar de serem estatisticamente diferentes, não possuem interação com a produtividade (Tabela 4), pois nessa não se obteve diferença estatística (SOUZA et al., 2011).

**Tabela 6.** Efeito da inoculação via sementes com *Azospirillum brasilense* e ano safra na análise foliar. Passos, MG.

2019/2020	S (g/kg)	K (g/kg)	B (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Fe (mg/kg)
Não inoculado	1,2 a	23,0 a	7,4 a	53,5 a	208,1 a
Inoculado	1,2 a	21,2 a	6,9 a	47,7 a	197,9 a
2019/2020					
Dose 0	1,2 a	22,1 a	7,0 a	48,4 a	181,6 a
Dose 1	1,1 a	22,1 a	7,7 a	49,3 a	201,6 a
Dose 2	1,2 a	22,9 a	6,7 a	53,8 a	198,5 a
Dose 3	1,1 a	20,4 a	7,6 a	49,8 a	224,9 a
Dose 4	1,1 a	21,8 a	7,6 a	52,7 a	217,6 a
Dose 5	1,3 a	23,1 a	6,2 a	49,6 a	193,8 a
CV (%)	15,0	13,8	20,8	17,2	18,6

Médias nas colunas seguidas por letras diferentes diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de significância.

**Tabela 7.** Efeito da inoculação via sementes com *Azospirillum brasilense* e ano safra na análise foliar. Passos, MG.

2020/2021	N (g/kg)	P (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)
Não inoculado	23,2 a	1,3 b	2,2 b	0,9 a	5,4 b	32,3 a
Inoculado	22,4 a	1,5 a	2,6 a	1,0 a	8,4 a	33,9 a
2020/2021	N	P	Ca	Mg	Cu	Mn
Dose 0	19,2 c	1,3 a	2,0 b	0,8 b	4,9 b	28,5 b
Dose 1	18,1 c	1,4 a	2,1 b	0,7 b	6,6 a	30,2 b
Dose 2	22,0 b	1,4 a	2,4 a	0,8 b	7,4 a	31,7 b
Dose 3	24,1 a	1,4 a	2,5 a	1,0 a	6,9 a	31,3 b
Dose 4	26,2 a	1,4 a	2,9 a	1,2 a	8,2 a	36,6 a
Dose 5	27,4 a	1,4 a	2,6 a	0,9 b	7,5 a	40,5 a
CV (%)	12,6	15,9	17,5	25,2	18,2	16,3

Médias nas colunas seguidas por letras diferentes diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de significância.

Isso comprova a lei do mínimo de Liebig, que trata da importância do equilíbrio na nutrição vegetal, na qual a produtividade pode ser limitada pela falta de um único nutriente, mesmo que outro esteja em altas concentrações; mesmo que este seja um macronutriente.

Analisando a inoculação via semente de *Azospirillum brasilense*, não se obteve diferença estatística para os teores de N foliar, corroborando os resultados obtidos por Picazevicz, Kusdra e Moreno (2019).

O teor de P observado alcançou nível de concentração mais elevado para os tratamentos que receberam a inoculação com *Azospirillum brasilense* (Tabela 7), isso pode ser explicado pelo fato de a adubação nitrogenada e os microrganismos possuírem a capacidade de promover atividades enzimáticas na rizosfera que auxiliam a solubilização de fosfatos. Ainda, a inoculação favorece o desenvolvimento radicular e seu aumento de volume (MORAES, 2016), o que favorece a absorção desse nutriente que exige que a raiz entre em contato por difusão (MIKKELSEN, 2015). Pires et al. (2015) verificaram que os teores de P aumentaram em decorrência das maiores doses de N, o que não foi comprovado no presente trabalho.

Em se tratando de micronutrientes, tanto a inoculação com *Azospirillum brasilense* quanto as doses elevadas de N propiciaram incremento nos valores de Cu nos tecidos foliares. Miranda et al. (2015) encontraram resultados semelhantes, obtendo aumento linear de Cu à medida que aumentaram as doses de fertilizante nitrogenado, demonstrando assim efeito sinérgico entre esses nutrientes, na qual o teor da adubação nitrogenada influenciou o aumento da absorção de Cu. Besen et al. (2020) obtiveram resultados semelhantes ao observado no presente estudo, entretanto, na cultura do trigo, na qual verificaram que incrementos na dose de N trouxeram maiores valores de Cu e Mn foliar.

## Conclusões

A inoculação via sementes com *Azospirillum brasilense* não provocou diferença estatística consolidada nos dois anos de cultivo de milho em sucessão à cultura da soja.

O teor de N nos tecidos foliares aumentou de acordo com o aumento da dose de fertilizante nitrogenado aplicado em cobertura, entretanto esse fato não se refletiu na produtividade.

## Agradecimentos

À Universidade do Estado de Minas Gerais pelo apoio e concessão de bolsa de produtividade ao primeiro autor.

## Referências

ALBUQUERQUE, A. W.; SANTOS, J. R.; FILHO, G. M.; REIS, L. S. Plantas de cobertura e adubação nitrogenada na produção de milho em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 7, p. 721-726, 2013.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711 – 728, 2013.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JR., W. **AgroEstat**: sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos. Versão 1.0. Jaboticabal: Departamento de Ciências Exatas, 2014.

BASSETTO JÚNIOR, N.; ALVES, G. H. T.; BELLETTINI, S.; BELLETTINI, N. M. T. Parcelamento de nitrogênio e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense* na cultura do milho. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 11, p. 89544-89563, 2020.

BESSEN, M. R.; GOES NETO, A. F.; ESPER NETO, M.; ZAMPAR, E. J. de O.; COSTA, E. J. de O.; CORDIOLI, V. R.; INOUE, T. T.; AUGUSTO, M. Nitrogen fertilization and leaf spraying with *Azospirillum brasilense* in wheat: effects on mineral nutrition and yield. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 4, n. 19, p. 483-493, 2020.

BESSEN, M. R.; RIBEIRO, R. H.; FIGUEROA, L. V.; PIVA, J. T. Produtividade do milho em resposta à inoculação com *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada em clima subtropical.

**Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 2, p. 257-268, 2019.

BUENO, A. K. de J. **Análise econômica da inoculação de *azospirillum brasilense* no cultivo de milho**. 2019. 31 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Centro Universitário de Anápolis – Unievangélica, Anápolis, 2019.

CEPEA - CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. Departamento de Economia, Administração e Sociologia. **Indicador do milho esalq/bm&fbovespa**. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/indicador/milho.aspx>>. Acesso em: 05 fev. 2022.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 8, n. 12, Safra 2020/21, décimo segundo levantamento, Brasília, 2021. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos/boletim-da-safra-de-graos?start=20>>. Acesso em: 01 jul. 2021.

CRUZ, S. C. S.; PEREIRA, F. R. S.; SANTOS, J. R.; ALBUQUERQUE, A. W.; PEREIRA, R. G. Adubação nitrogenada para o milho cultivado em sistema plantio direto, no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 1, p. 62-68, 2008.

DEBASTIANI, R. S. **Inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* associado à adubação nitrogenada na cultura do milho**. 2016. 22 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, 2016.

DINIZ, A. A. **Aplicação de condicionantes orgânicos do solo e nitrogênio na produção e qualidade do maracujazeiro amarelo**. 2009. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2009.

- FERREIRA, A. C. T. **Doses de nitrogênio no milho safrinha e na forrageira sob efeito residual da co-inoculação na cultura da soja.** 2017. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos, Universidade do Estado de Mato Grosso Faculdade de Ciências Biológicas e Agrárias, Alta Floresta, 2017.
- GOTT, R. M.; SICHOCKI, D.; AQUINO, L. A.; XAVIER, F. O.; SANTOS, L. P. D. dos; AQUINO, R. F. B. A. de. Fontes e épocas de aplicação de nitrogênio no milho safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 1, p. 24-34, 2014.
- HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo.** Londrina: Embrapa, 2011. 36 p.
- KANEKO, F. H.; SABUNDJIAN, M. T.; ARF, O.; LEAL, A. J. F.; CARNEIRO, L. F.; PAULINO, H. B. Análise econômica do milho em função da inoculação com *azospirillum*, fontes e doses de N em cobertura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 2, p. 202-216, 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**, v. 34, n. 2, p. 527-538, 2013.
- KARAM, D.; MELHORANÇA, A. L.; OLIVEIRA, M. F. Plantas daninhas da cultura do milho. Cap 9. **Circular Técnica, Embrapa Milho e Sorgo**, 8p. 2006.
- KOTOWSKI, I. E. **Avaliação da eficiência agrônômica do inoculante a base de *azospirillum brasilense* na cultura do milho.** 2015. 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS, Cerro Largo, 2015.
- LEMONS, J.M.; GUIMARÃES, V.F.; VENDRUSCOLO, E. C.; SANTOS, M. F.; OFFEMANN, L. C. Resposta de cultivares de trigo à inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense*, e à adubação nitrogenada em cobertura. **Científica**, v. 41, n. 2, p. 189-198, 2013.
- LÓPEZ, L. V.; HERRERA, A. M. *Azospirillum*: habitante de la gramíneas. **La Ciencia y el Hombre**, v. 27, n 1, p. 2–5, 2017.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.
- MALAVOLTA, E.; GOMES, F. P.; ALCARDE, J. C. **Adubos e adubações.** São Paulo: Nobel, 2002. 200 p.
- MAURI, V. N.; BELLAVER, M.; RICHART, A. Doses de nitrogênio aplicadas em cobertura no milho segunda safra cultivado em Latossolo Vermelho. **Revista Cultivando o Saber**, v. 13, n. 3, p. 21-35, jul. 2020.
- MIKKELSEN, R. Os solos e as raízes das plantas. **Jornal Informações Agrônômicas** n. 150, v. 99, n 1, p. 15-17, 2015.
- MIRANDA, R. N.; SIQUEIRA, T. P.; FREITAS, L. G.; VASCONCELOS, A. C. P; FARIA, M. V.; LANA, R. M. Q. Micronutrientes foliares em plantas de milho inoculadas com *Azospirillum brasilense* e doses de nitrogênio no cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal, RN. **O solo e suas múltiplas funções.** Natal, RN: SBCS, 2015.
- MORAES, C. ***Azospirillum brasilense* e um isolado solubilizador de fósforo em milho.** 2016. 80 f. Tese (Doutorado) - Curso de Microbiologia, Universidade Estadual Paulista - Unesp, Jaboticabal, 2016.

MOREIRA, R. C.; VALADÃO, F. C. de A.; VALADÃO JÚNIOR, D. D. Desempenho agrônômico do milho em função da inoculação com *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 62, n. 1, p. 1-10, 2018.

MÜLLER, T. M. **Inoculação de *Azospirillum brasilense* associada a níveis crescentes de adubação nitrogenada e o uso de bioestimulante vegetal na cultura do milho**. 2013. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Unicentro-Pr, Guarapuava, 2013.

MUMBACH, G. L.; KOTOWSKI, F. J. A.; MALLMANN, E. B.; BONFADA, V. O.; PORTELA, E. B.; BONFADA, D. R. K. Resposta da inoculação com *Azospirillum brasilense* nas culturas de trigo e de milho safrinha. **Revista Scientia Agraria**, v. 18, n. 2, p. 97-103, 2017.

NOVAIS, R. F.; V, V. H. A.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p.

PEREIRA, C. S.; ZANETTI, V. H.; SCHOFFEN, M. E.; WIEST, G.; FIORINI, I. V. A. Caracteres de produção e índice ClorofiloG® de treze híbridos de milho no norte de Mato Grosso. **Agrarian**, v. 14, n. 52, p. 233-240, 2021.

PICAZEVICZ, A. A. C. **Crescimento do milho em resposta a *azospirillum brasilense*, *rhizobium tropici*, molibdênio e nitrogênio**. 2017. 81 f. Tese (Doutorado) - Curso de Produção Vegetal, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2017.

PICAZEVICZ, A. A. C.; KUSDRA, J. F.; MORENO, A. L. Crescimento do milho em resposta à rizobactérias, molibdênio e nitrogênio. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 4, p. 167-174, 2019.

PIRES, A. H. M.; SIQUEIRA, T. P.; FREITAS, L. G. de; VASCONCELOS, A. C. P. de; FARIA, M. V. de; LANA, R. M. Q. Teores de macronutrientes foliares em plantas de milho inoculadas com *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada em solo de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal, RN. **O solo e suas múltiplas funções**. Natal, RN, SBCS, 2015.

PIRES, B. S.; DIAS JUNIOR, M.S, ROCHA, W. W; ARAÚJO, JUNIOR C. F., CARVALHO R.C.R. Modelos de capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 36, n. 2 p. 635-42, 2012.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; V., V. H. A. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em minas gerais**. 5ª aproximação. Viçosa: CFSEMG - Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 360 p.

RIVERA, A. A. C. **Análise agrônômica e econômica de sistemas de produção de milho**. 2006. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

RODRIGUES, F.; MELO, P. G. S.; RESENDE, C. L. P.; MROJINSKI, F.; MENDES, R. C.; SILVA, M. A. Aptidão de híbridos de milho para o consumo in natura. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 2, p. 484-492, 2018.

SANTOS, P. M.; BERNARDI, A. C. C.; NOGUEIRA, A. R. A.; MENDONÇA, F. C.; LEMOS, S.G.; MENEZES, E. A.; TORRES-NETO, A. Uso de nitrogênio: estratégias de aplicação. In: PEDREIRA, C. G. S.; MOURA, J. C.; SILVA, S. C.; FARIA, V. P. **Novas perspectivas para produção e manejo de pastagens**. Piracicaba: Fealq, 2007. p. 131-152.

SBCS - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Estadual do Paraná (NEPAR). **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2017. 482 p.

SILVA JUNIOR, J. A. M.; FREITAS, J. M. de; REZENDE, C. F. A. Produtividade do milho associado a inoculação com *Azospirillum brasilense* e diferentes doses de adubação nitrogenada. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. 1-8, 2021.

SILVA, A. A; ANDRADE, E. L.; SILVA, T. R; MELIDO, P. **Produtividade de milho inoculado com *Azospirillum brasilense* sob diferentes doses de nitrogênio**. In: SIMPÓSIO DE TCC, DAS FACULDADES FINOM e TECSOMA, 3., 2020. **Anais...** Paracatu MG, 2020.

SOUZA, A. W. A. de; PIRES, G. A. **Revisão de literatura: milho**. Rio Branco: Universidade Federal do Acre, 2013. 21 p.

SOUZA, J. A. P.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; ANDREOTTI, M.; SÁ, M. E.; ARF, O. Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha irrigado em plantio direto. **Bragantia**, v. 70, n. 2, p. 447-454, 2011.

TOMAZELA, A. L. **Adubação nitrogenada e de micronutrientes na produtividade e incidência de doenças foliares em milho**. 2005. 57 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Fitotecnia, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005.