

IDEAU

**DESEMPENHO DE MILHO INOCULADO COM *AZOSPIRILLUM*
BRASILENSE**

**PERFORMANCE OF CORN INOCULATED WITH *AZOSPIRILLUM*
BRASILENSE**

**RENDIMIENTO DEL MAÍZ INOCULADO CON *AZOSPIRILLUM*
BRASILENSE**

Diego dos Santos Pacheco

Graduado em Agronomia, Faculdade IDEAU, Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: dpagro94@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0009-0006-3934-0194>

Eduardo Luiz Giacomini

Graduado em Agronomia, Faculdade IDEAU, Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: eduardogiacomini@yahoo.com.br
Orcid: <https://orcid.org/0009-0001-8527-8954>

Tailana Keli de Campos

Graduado em Agronomia, Faculdade IDEAU, Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: tailana.mello@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0009-0003-4076-788X>

Caroline Farias Barreto

Doutora em Fruticultura, Faculdade IDEAU, Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: agronomia.cx@ideua.com.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5568-5305>

Cassiane Ubessi

Doutora em Agronomia, Faculdade IDEAU, Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: cassianeubessi@ideau.com.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3378-883X>

Diógenes Cecchin Silveira

Doutor em Zootecnia, Faculdade IDEAU, Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: diogenessilveira@ideau.com.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6653-4839>

Submitted on: 07.24.2024 | Accepted on: 22.08.2024 | Published on: 09.03.2024

RESUMO

O milho é uma das culturas mais produzidas mundialmente e a utilização de bactérias promotoras de crescimento de plantas auxilia a promover e fortalecer a resistência ao estresse, bem como, aumento na produção de grãos. Deste modo, o presente trabalho objetivou-se investigar o desempenho produtivo do milho com diferentes doses de *Azospirillum brasilense*. O experimento foi realizado no distrito Fazenda Souza, no município de Caxias do Sul, RS, na safra 2021/2022. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, com três repetições. Os tratamentos utilizados foram: testemunha sem inoculante e as doses de 200 ml/ha⁻¹ e 400 ml/ha⁻¹ de inoculante líquido *Azospirillum brasilense*. As variáveis avaliadas foram: análise foliar de macro e micronutrientes, número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira, comprimento de espiga, diâmetro de espiga, diâmetro de sabugo, peso de grãos por espiga, peso de mil sementes e rendimento de grãos. O uso da inoculação com *Azospirillum brasilense* demonstrou efeito positivo nas variáveis comprimento e diâmetro de espiga, peso de grãos por espiga e peso de mil sementes, igualmente, contribuiu na elevação da concentração de nutrientes foliares como fósforo, cálcio, magnésio e enxofre.

Palavras-chave: *Zea Mays*. Bactérias Diazotróficas. Inoculante.

ABSTRACT

Corn is one of the most produced crops in the world and the use of plant growth-promoting bacteria helps to promote and strengthen resistance to stress, as well as an increase in grain production. Thus, the present work aimed to investigate the productive performance of corn with different doses of *Azospirillum brasilense*. The experiment was carried out in the Fazenda Souza district, in the municipality of Caxias do Sul, RS, in the 2021/2022 harvest. The experimental design used was randomized blocks, with three replications. The treatments used were control without inoculant and doses of 200 ml/ha⁻¹ and 400 ml/ha⁻¹ of liquid inoculant *Azospirillum brasilense*. The variables evaluated were: foliar analysis of macro and micronutrients, number of rows per cob, number of grains per row, cob length, cob diameter, grain weight per cob, thousand seed weight and grain yield. The use of inoculation with *Azospirillum brasilense* showed a positive effect on the variables length and diameter of the cob, weight of grains per cob and weight of a thousand seeds, also contributing to the increase in the concentration of foliar nutrients such as phosphorus, calcium, magnesium and sulfur.

Keywords: *Zea Mays*. Diazotrophic Bacteria. Inoculant.

RESUMEN

El maíz es uno de los cultivos más producidos a nivel mundial y el uso de bacterias promotoras del crecimiento vegetal ayuda a promover y fortalecer la resistencia al estrés, así como un aumento en la producción de granos. Por lo tanto, el presente trabajo tuvo como objetivo investigar el comportamiento productivo del maíz con diferentes dosis de *Azospirillum brasilense*. El experimento se realizó en el distrito de Fazenda Souza, en el municipio de Caxias do Sul, RS, en la cosecha 2021/2022. El diseño experimental utilizado

fue de bloques al azar, con tres repeticiones. Los tratamientos utilizados fueron: testigo sin inoculante y dosis de 200 ml/ha-1 y 400 ml/ha-1 de inoculante líquido *Azospirillum brasilense*. Las variables evaluadas fueron: análisis foliar de macro y micronutrientes, número de hileras por mazorca, número de granos por hilera, largo de mazorca, diámetro de mazorca, diámetro de mazorca, peso de granos por mazorca, peso de mil semillas y rendimiento de grano. la inoculación con *Azospirillum brasilense* demostró un efecto positivo sobre las variables longitud y diámetro de mazorca, peso de granos por mazorca y peso de mil semillas, contribuyendo también al aumento de la concentración de nutrientes foliares como fósforo, calcio, magnesio y azufre.

Palabras clave: Zea Mays. Bacterias Diazotróficas. Inoculante.

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma espécie da família Poaceae cultivada em grande escala, sendo o terceiro cereal mais cultivado mundialmente, depois do arroz e do trigo (Awika, 2011). A cultura do milho tem grande importância econômica, dentro das propriedades rurais, no agronegócio e em muitos segmentos da indústria alimentícia, produção de álcool e dentro do sistema de rotação de culturas.

No Brasil, é um cereal com importância econômica, principalmente devido as suas finalidades industriais e para alimentação humana (Galvão et al. 2017). Por isso, buscam-se novas técnicas e cultivares que atinjam maiores tetos produtivos Com o intuito de aprimorar a produtividade do milho, é essencial o fornecimento de nitrogênio (N) à cultura, via adubação. Em adição ao uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos, várias pesquisas têm avaliado o efeito da inoculação com bactérias diazotróficas no crescimento e produtividade de milho (CONCEIÇÃO et al., 2008; Martins et al., 2016).

O *Azospirillum brasilense* é um gênero de bactérias promotoras de crescimento de plantas, os quais associados a gramíneas, como o milho, realiza a fixação biológica de nitrogênio e a síntese de hormônios, entre outros processos benéficos para a planta (Hungria, 2011; Bulla; Junior, 2012). Com a fixação biológica de nitrogênio, o elemento é capturado do ar e fixado na planta por meio de processos biológicos (Bulla; Junior, 2012).

O nitrogênio é o nutriente mais exigido para a cultura do milho (Farinelli; Lemos, 2012), representa um dos maiores custos na produção e, quando a demanda exigida pela planta não é atendida, limita a produção de grãos. Assim, o uso da inoculação com bactérias, pode-se conseguir substituir ou reduzir o uso de adubos sintéticos, como por exemplo, o nitrogênio (Santos *et al.*, 2020).

A inoculação das sementes de milho com bactérias diazotróficas, promotoras do crescimento de plantas, pode ajudar na fixação biológica de nitrogênio, além de promover a síntese de hormônios, a solubilização de fósforo e atuar como agentes de controle biológico de doenças patogênicas (Santos *et al.*, 2020). Todos esses processos podem auxiliar no desenvolvimento da cultura e na elevação da produtividade. Deste modo, o objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho produtivo do milho com diferentes doses de inoculante *Azospirillum brasilense*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 LOCAL E PERÍODO DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido na área experimental da Faculdade IDEAU, no município de Caxias do Sul, Rio Grande do Sul que tem como latitude 29°09'42"S, longitude: 51°00'40"O e altitude aproximada de 760 m. O clima da região é do tipo Cfb, de acordo com a classificação de Köppen (MORENO, 1961). O solo da região é denominado Neossololítico distrófico típico (Streck *et al.*, 2008). A temperatura média do ar é de 16,8 °C, com umidade relativa em torno de 78% e precipitação média anual de 1800 mm (INMET, 2021).

2.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados com parcelas de 2 m x 5 m, com três repetições de cada tratamento. Os tratamentos utilizados foram: Testemunha sem inoculante (T1); doses de 200 ml/ha⁻¹ de inoculante líquido *Azospirillum brasilense* (T2); doses de 400 ml/ha⁻¹ de

inoculante líquido *Azospirillum brasilense* (T3). A estirpe da bactéria *Azospirillum brasilense* utilizada foi AbV5 e AbV6 com garantia de 2×10 UFC/ml.

2.3 MANEJO DA ÁREA EXPERIMENTAL E AVALIAÇÕES

A semeadura foi realizada no dia 4 de dezembro de 2021, com a variedade de milho NK 467 VIP3, que apresenta ciclo precoce. A profundidade de semeadura foi de três centímetros e população de 3,2 plantas por metro linear, com espaçamento de cinquenta centímetros entre filas/linhas. As sementes foram inoculadas no momento da semeadura.

A adubação de base foi realizada com a fórmula NPK 10-20-10 e adubação de cobertura de ureia com 45% de nitrogênio na fase vegetativa (V5) acordo com a análise de solo da Tabela 1 (CQFS – RS/SC, 2016). As aplicações de fungicida e inseticida foram realizadas conforme as recomendações técnicas para o cultivo de milho.

Tabela 1 - Atributos físico-químicos do solo na área experimental de cultivo de milho. Caxias do Sul, 2022.

| Argila (%) | pH água | Índice SMP | M.O. ¹ (%) | P (....mg/dm ³) | K | Al | Ca (.... cmol/dm ³) | Mg | |
|------------|--|------------|-----------------------|---------------------------------|------|------|--------------------------------------|------|------|
| 34 | 6,4 | 6,7 | 3 | 2,16 | 83 | 0 | 7,09 | 3,85 | |
| H+Al | CTC efetiva (....cmol/dm ³) | CTC pH 7 | V (.....%.....) | M | S | Cu | Zn | Mn | B |
| 1,95 | 13,1 | 15,1 | n.d | n.d | 1,45 | 1,48 | 3,98 | 3,16 | 0,26 |

¹MO: matéria orgânica; P: fósforo; K: potássio; Al: alumínio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; H+Al: acidez potencial; CTC efetiva: capacidade de troca de cátions determinada no pH do solo; CTC pH 7: capacidade de troca de cátions estimada em pH 7; V: saturação de bases; m: saturação por alumínio; S: enxofre; Cu: cobre; Zn: zinco; Mn: manganês; B: boro; n.d: não determinado.

Fonte: BARRETO, C. F., 2022, Caxias do Sul/RS.

2.4 AVALIAÇÕES E ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a análise foliar foi realizado a coleta das folhas foi dia 02/03/2022, no estágio de aparecimento da inflorescência feminina. Foram coletadas 10 folhas de cada parcela dos tratamentos e retirada à folha inferior e oposta da boneca inferior da planta. Após, as amostras foram enviadas para laboratório de análise de folhas para a determinação dos macro e micronutrientes foliares.

No estágio de maturação foram escolhidas aleatoriamente 10 espigas por parcela para a realização da contagem do número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF), comprimento de espiga (CE), diâmetro de espiga (DE), diâmetro de sabugo (DS), peso de grãos por espiga (PGE), peso de mil sementes (PMS) e o rendimento de grãos (RG). Os dados das variáveis foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey com nível de significância de 5%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando os nutrientes foliares das folhas de milho, pode-se verificar maiores teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Enxofre (S) e Ferro (Fe), quando se utilizou-se oinoculante com *Azospirillum brasilense* (Tabela 2). As bactérias de vida livre, como no caso do *Azospirillum*, são capazes de interagir com as raízes, assim, vivem próximas as raízes para que o nitrogênio fixado por essas bactérias possa ser facilmente absorvido pelas plantas (TABASSUM *et al.*, 2017). Segundo Baldotto *et al.* (2012), as bactérias Promotoras do Crescimento de Plantas possuem a capacidade de solubilização de fosfato e relatam um acúmulo maior de nitrogênio e fósforo foliar em plantas de milho inoculadas com bactérias diazotróficas quando comparado ao sem inoculação.

Tabela 2 - Análise foliar de macronutrientes em milho inoculados com *Azospirillum brasilense*, com diferentes doses, no município de Caxias do Sul, RS.

| Tratamentos | N | P | K | Ca | S | Mg |
|------------------------------------|-------|------|-------|-------|------|------|
| Testemunha | 29,70 | 2,50 | 21,80 | 4,20 | 1,70 | 1,80 |
| Inoculante 200ml/ha ⁻¹ | 25,20 | 2,60 | 22,30 | 4,70 | 1,90 | 2,00 |
| Inoculante 400 ml/ha ⁻¹ | 31,20 | 2,80 | 20,80 | 16,20 | 1,90 | 3,30 |

Fonte: Autores, 2022, Caxias do Sul/RS.

O teor foliar de Mg também aumentou com o uso de inoculante (Tabela 1). Altarugio *et al.* (2017) relatam que o Mg é fundamental para todas as culturas, por ser responsável por vários processos para o crescimento e desenvolvimento das plantas, incluindo o processo de fotossíntese.

O aumento de teores foliares de Ca e S nas plantas pode ser benéfico, no caso do Ca, esse nutriente auxilia nos pontos de crescimento das plantas, como raízes e grãos, além disso, influencia na formação da parede celular, tornando a planta mais rústica e dificultando o ataque de insetos (MANEGHETTI, 2019). Já no caso do S, este nutriente exerce papel de defesa nas plantas contra pragas e doenças, devido à grande variedade de compostos secundários que contém em sua estrutura (FIORINI, 2011).

Entre os micronutrientes presentes na Tabela 2, observa-se que o teor foliar de Fe apresentou aumento na dose mais alta de inoculante. Enquanto o teor foliar de B foi menor com o uso de inoculante, independente da dose utilizada nesse estudo (Tabela 3).

Tabela 3 - Análise foliar de micronutrientes em milho inoculados com *Azospirillum brasilense*, com diferentes doses, no município de Caxias do Sul, RS.

| Tratamentos | Zn | Mn | Fe | B |
|------------------------------------|-------|-------|--------|-------|
| Testemunha | 24,40 | 38,90 | 118,70 | 12,30 |
| Inoculante 200 ml/ha ⁻¹ | 23,00 | 38,30 | 110,80 | 6,60 |
| Inoculante 400 ml/ha ⁻¹ | 24,40 | 38,70 | 126,40 | 8,50 |

Fonte: Autores, 2022, Caxias do Sul/RS.

Para as variáveis número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira e diâmetro de espiga não houve diferença entre os tratamentos testados neste estudo (Tabela 4). O comprimento de espiga foi maior quando o milho foi inoculado com *Azospirillum brasilense* na dose de 200 ml/ha⁻¹ (Tabela 4). Conforme Soratto *et al.* (2011), a aplicação de nitrogênio em cobertura, aumenta o número espigas por planta, que interfere diretamente na produtividade do milho.

Tabela 4 - Número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF), comprimento de espiga (CE), diâmetro de espiga (DE) de milho inoculada com *Azospirillum brasilense* com diferentes doses, no município de Caxias do Sul, RS.

| Tratamentos | NFE | NGF | CE | DE |
|------------------------------------|----------|----------|---------|----------|
| Testemunha | 15,62 ns | 33,12 ns | 16,26 b | 50,47 ns |
| Inoculante 200 ml/ha ⁻¹ | 15,12 | 33,50 | 16,86 a | 50,37 |
| Inoculante 400 ml/ha ⁻¹ | 14,87 | 33,37 | 16,39 b | 50,49 |

As médias seguidas de letras distintas, comparadas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) de probabilidade de erro.

Fonte: Autores, 2022, Caxias do Sul/RS.

O diâmetro de sabugo foi maior no tratamento com inoculante 400 ml/ha⁻¹, em relação aos demais tratamentos (Tabela 5). Entretanto, Heinrichs *et al.* (2003), estudando a influência de doses de nitrogênio na forma de ureia em cobertura superficial aplicada quando as plantas apresentavam seis folhas completamente expandidas, constataram que o nitrogênio não afetou significativamente o diâmetro de espiga.

Tabela 5 - Diâmetro de sabugo (DS), peso de grãos por espiga (PGE), peso de mil sementes (PMS), rendimento de grãos (RG) de milho inoculados com *Azospirillum brasilense* com diferentes doses, no município de Caxias do Sul, RS.

| Tratamentos | DS | PGE | PMS | RG |
|------------------------------------|---------|----------|----------|------------|
| Testemunha | 28,73 c | 222,40 b | 46,36 b | 8622,82 ns |
| Inoculante 200 ml/ha ⁻¹ | 29,78 b | 227,39 a | 48,47 ab | 8590,26 |
| Inoculante 400 ml/ha ⁻¹ | 30,16 a | 215,64 c | 48,99 a | 8445,95 |

As médias seguidas de letras distintas, comparadas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05) de probabilidade de erro.

Fonte: Autores, 2022, Caxias do Sul/RS.

O peso de grãos por espiga foi maior no tratamento com a dose de inoculante de 200 ml/ha⁻¹, em relação aos demais tratamentos (Tabela 5). Conforme demonstrado na Tabela 5, houve diferença significativa para a variável peso de mil sementes nos tratamentos com inoculação de *Azospirillum brasilense*. No entanto, Bulla & Junior (2012), não encontraram resultados do efeito da inoculação com *Azospirillum brasilense* em relação ao peso de mil sementes, sendo este um componente de rendimento considerado importante e relevante de produtividade. Neste estudo não se constatou diferença para o rendimento de grãos para os tratamentos testados (Tabela 5).

4 CONCLUSÃO

A inoculação da semente de milho com *Azospirillum brasilense* alterou os teores foliares dos nutrientes nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio, enxofre e ferro. Quanto às variáveis de produção, o peso de grãos por espiga foi maior no tratamento com inoculante na dose de 200 ml/ha⁻¹, enquanto que o diâmetro de espiga demonstrou melhor resposta com a dose de 400 ml/ha⁻¹, no entanto, não houve diferença significativa para o rendimento de grãos.

REFERÊNCIAS

- ALTARUGIO, L. M.; LOMAN, M. H.; NIRSCHL, M. G.; SILVANO, R. G.; ZAVASCHI, E. CARNEIRO, L. D. M.; OTTO, R. Desempenho produtivo de soja e milho submetidos à aplicação foliar de magnésio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, p. 1185-1191, 2017.
- AWIKA, J. M. Major cereal grains are produced and used around the world. In: AWIKA, J. M.; PIIRONEN, V.; BEANS, S. (eds). **Advances in cereal science: implications to food processing and health promotion**. Washington: ACS Symposium Series; American Chemical Society, v. 1089. p.1-13. 2011.
- BALDOTTO, L. E. B.; SILVA, L. G. J. S.; CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L.; BALDOTTO, M. A. Initial growth of maize in response to application of rock phosphate, vermicompost and endophytic bacteria. **Revista Ceres**, v. 59, n.2, p. 262-270, 2012.
- BULLA, D.; JÚNIOR, A. A. B. Inoculação de sementes de milho com *Azospirillum brasilense* em diferentes doses de nitrogênio. **Revista Agropecuária Catarinense**, v. 25, n.2, 2012.
- CONCEIÇÃO, P.M.; VIEIRA, H.D.; CANELLAS, L.P.; MARQUES JÚNIOR, R.B.; OLIVARES, F.L. Recobrimento de sementes de milho com ácidos húmicos e bactérias diazotróficas endofíticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.4, p.545-548, 2008.
- CQFS - Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de calagem e adubação para os Estados de Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 376, 2016.
- FARINELLI, R.; LEMOS, L. B. Nitrogênio em cobertura na cultura do milho em preparo convencional e plantio direto consolidados. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, p. 63-70, 2012.
- FIORINI, I. V. A. **Resposta da cultura do milho a diferentes fontes de enxofre e formas de aplicação de micronutrientes**, 2011. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado. Lavras, Universidade Federal de Lavras 70 p.
- GALVÃO, J. C. C.; BORÉM, A.; PIMENTEL, M. A. **Milho: do plantio à colheita**. 2.ed. Viçosa (MG): Ed. UFV, 2017.
- HEINRICH, R.; OTOBONI, J.L. DE. M.; GAMBA JR, A.; CRUZ, M.C.; SILVA, C. Doses de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, n. 4, p. 1-5, 2003.
- HUNGRIA, M. A. **Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo**. Embrapa – Documentos 325, 2011. 35 p.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados climatológicos**. 2021.
- MARTINS, A.G.; SEIDEL, E. P.; RAMPIM, L.; ROSSET, J.S.; PRIOR, M.; COPPO, J.C. Aplicação de bioestimulante em sementes de milho cultivado em

solos de diferentes texturas. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 15, n. 4, p. 440-445, 2016.

MORENO, J. A. **Clima do Rio grande do Sul**. Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul, n. 11, p. 49-83, 1961.

SANTOS, R. M.; DIAZ, P. A. E.; LOBO, L. L. B.; RIGOBELLO, E. C. Use of plant growth-promoting Rhizobacteria in maize and sugarcane: Characteristics and applications. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, p. 1-15, 2020.

SORATTO, R.P.; SILVA, A.H. DA, CARDOSO, S. DE M.; MENDONÇA, C.G. DE. Doses e fontes alternativas de nitrogênio nomilho sob plantio direto em solo arenoso. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 1, p. 62-70, 2011.

TABASSUM, B., KHAN, A., TARIQ, M., RAMZAN, M., KHAN, MSI, SHAHID, N., (2017). Bottlenecks in commercialisation and future prospects of PGPR. **Applied Soil Ecology**, v.121, p. 102-117, 2017.