

**DOSES DE AZOSPIRILLUM BRASILENSE NA PRODUTIVIDADE DO MILHETO****AZOSPIRILLUM BRASILENSE DOSES ON MILLET PRODUCTIVITY**Dorcas Bernadeth Pedro Muanza¹; Cleidson Soares Ferreira²**RESUMO**

O presente trabalho avaliou o efeito de diferentes doses do inoculante microbiano *Azospirillum brasilense* na produtividade do milheto (*Pennisetum glaucum* L.), cultura de grande relevância econômica e ambiental no Brasil. O ensaio foi conduzido na Fazenda Colibri, em Cruzília – MG, com delineamento em blocos casualizados contendo cinco tratamentos e cinco repetições. As doses testadas foram de 0 ml (testemunha), 10ml, 20ml, 30ml e 40ml, todas aplicadas via pulverização manual. Foram avaliadas as variáveis massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea, comprimento do sistema radicular e produtividade (ton/ha) da cultura. Os resultados demonstraram diferenças significativas entre os tratamentos para todas as variáveis analisadas. Observou-se incremento progressivo nos valores médios de massa fresca e seca, comprimento do sistema radicular e produtividade à medida em que se aumentaram as doses do inoculante, sendo que a dose de 40 ml/ha⁻¹ foi que proporcionou maior desenvolvimento das plantas de milheto. O inoculante a base *Azospirillum brasilense* influenciou diretamente no incremento das características fitotônicas de plantas de milheto quando do aumento da dose em condições de campo. Não foi possível evidenciar a dose limite desse incremento nos dados filotécnicos das plantas de milheto, sendo que a dose de 40 ml/ha permitiu maior desenvolvimento das plantas.

Palavras-chave: Fixação biológica; Agricultura sustentável; Inoculante**ABSTRACT**

This present study work evaluated the effect of different doses of the microbial inoculant *Azospirillum brasilense* on the productivity of millet (*Pennisetum glaucum* L.), a principle of great economic and environmental importance in Brazil. The experiment was conducted at Colibri farm, in Cruzília – MG, using a randomized block design with five treatments and five replications. The doses tested were 0 ml (control), 10 ml, 20 ml, 30 ml, and 40 ml, all was applied via manual spraying. The variables evaluated were fresh shoot mass, dry shoot mass, root system length, and crop productivity (tons/ha). The results showed significant differences between treatments for all variables analyzed. Progressive increases were observed in the average values of fresh and dry mass, root system length, and productivity as the inoculant doses increased, with the 40 ml/ha dose⁻¹ providing the greatest development of millet plants. The *Azospirillum brasilense*-based inoculant directly influenced the increase in the

¹Graduanda do curso de Engenharia Agrônoma do Grupo Unis.²Doutor em Agronomia. Docente do curso de Engenharia Agrônoma do Grupo Unis.

phytotechnical characteristics of millet plants when the dose increased under field conditions. It was not possible to determine the limiting dose of this increase in the phylotechnical data of the millet plants, with the 40 ml/ha dose allowing for greater plant development.

Keywords: Biological Fixation; Agricultural Sustainability; Inoculant

1 INTRODUÇÃO

O milheto (*Pennisetum glaucum* L.), pertencente à família Poaceae, tendo se consolidado como uma importante cultura agrícola no Brasil, especialmente durante a entressafra, sendo a principal cobertura vegetal empregada no modelo de plantio direto. Sua demanda tem crescido significativamente em razão da ampla aplicabilidade, destacando-se na produção de forragem destinada à pecuária de corte e leiteira, além do uso em sistemas conservacionistas e consorciados. Nutricionalmente, apresenta elevado teor de proteína bruta, superior ao milho e equivalente ao sorgo, o que o torna relevante tanto na alimentação animal quanto humana. Em diversas regiões do mundo, a farinha de milheto é empregada de maneira semelhante à de trigo, em razão do seu alto conteúdo nutritivo (Silva, 2019). Além disso, a cultura também é utilizada na produção de biocombustíveis e biomassa, por meio de bioenzimas especiais, reforçando sua importância como alternativa sustentável e versátil (Silva, 2019).

Para aprimorar o desenvolvimento do milheto em lavouras, podem ser aplicadas técnicas como o uso de fertilizantes orgânicos e fosfatos naturais. Contudo, uma das estratégias mais promissoras é o uso de bioestimulantes, especialmente os inoculantes microbianos. Nesse contexto, destacam-se as bactérias do gênero *Azospirillum brasilense*, reconhecidas como promotoras de crescimento vegetal. Esses microrganismos apresentam capacidade de colonizar a rizosfera, a superfície das folhas e até o interior dos tecidos vegetais, promovendo benefícios por meio do processo de fixação biológica de azoto (FBN) e da síntese de fitormônios vegetais, como auxinas, citocininas e giberelinas, que melhoram a capacidade de absorção de água e nutrientes e desenvolvimento radicular. (Hungria, 2016).

No Brasil, os inoculantes à base de *Azospirillum brasilense* já são amplamente comercializados para gramíneas, como milho e trigo, havendo também registros para o arroz. Sua utilização tem demonstrado ganhos expressivos de produtividade, maior tolerância a estresses hídricos moderados, além de maior resistência a agentes patogênicos, tornando-se uma alternativa sustentável à adubação nitrogenada mineral, de elevado custo e impacto ambiental (Hungria, 2016). Nesse cenário, o uso de inoculantes com *Azospirillum brasilense* surge como alternativa viável, ao mesmo tempo em que reduz a dependência de fertilizantes químicos,

promove maior eficiência nutricional e fortalece a resiliência das plantas diante de estresses bióticos e abióticos (Villar, 2022).

Perante o exposto, este trabalho propõe-se avaliar o efeito da inoculação de diferentes doses de *Azospirillum brasilense* no desenvolvimento produtivo do milheto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CULTURA E IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO MILHETO

O milheto (*Pennisetum glaucum* L.) é uma gramínea de origem africana, tradicionalmente cultivada em regiões semiáridas, que ao longo dos séculos se expandiu pela Ásia e posteriormente para a América. No Brasil, os primeiros registros de cultivo datam de 1929, no Rio Grande do Sul, sendo inicialmente utilizado em áreas de pastagem e, mais tarde, como cobertura vegetal para sistemas de plantio direto (Paniago, 2021). Apesar de ter permanecido por décadas com baixa expressão, o cultivo vem crescendo em função de sua rusticidade, versatilidade e importância no agronegócio.

A cultura caracteriza-se pela ampla adaptação a diferentes condições edafoclimáticas, tolerância a altas temperaturas, baixo requerimento hídrico e reduzida exigência em fertilidade do solo, atributos que a tornam altamente eficiente em regiões de clima instável e solos marginais (Embrapa, 2022). Além disso, apresenta ciclo fenológico curto, permitindo sua inserção em esquemas da alternância e sequência de culturas, especialmente no Cerrado, onde auxilia na preservação do solo e na manutenção da matéria orgânica (Farias, 2021). A época mais adequada para o cultivo do milheto dá-se durante o verão, pois a cultura depende de boa intensidade de luz para se desenvolver. Além disso, para que a germinação ocorra de forma adequada, a temperatura do solo deve estar acima de 20 °C, com médias noturnas superiores a 15 °C. Para que a planta se estabeleça bem, é necessário que haja pelo menos 30 milímetros de chuva (Seratto, 2020).

Do ponto de vista produtivo e nutricional, o milheto apresenta grãos com teor de proteína total similar ao sorgo e superior ao milho, além de níveis de energia metabolizável comparáveis a outros cereais energéticos utilizados na alimentação animal (Embrapa, 2022). Quando cultivado para silagem em regiões de déficit hídrico, pode apresentar produtividade superior face ao milho e ao sorgo, oferecendo forragem de melhor qualidade e maior resistência à estiagem (Embrapa, 2022). Essa característica tem ampliado sua importância para a pecuária, sobretudo em sistemas de produção extensivos.

No âmbito econômico, o milheto destaca-se por sua multifuncionalidade. Além do uso como grão e forragem, contribui para a cobertura vegetal em sistemas conservacionistas, melhora a estrutura do solo, auxilia no controle da erosão e pode ser aproveitado como matéria-prima para a produção de biocombustíveis por meio de processos enzimáticos (Paniago, 2021). Seu amido apresenta características promissoras para a indústria alimentícia, ampliando o leque de aproveitamento econômico (Farias, 2021).

Assim, a cultura do milheto tem se consolidado como alternativa estratégica para o agronegócio brasileiro. Sua rusticidade, baixa exigência de manejo, potencial para integração lavoura-pecuária e diversidade de usos tornam-na uma cultura de elevado valor econômico e ambiental, com papel central no fortalecimento da sustentabilidade dos sistemas produtivos e na ampliação da competitividade agrícola em regiões tropicais (Paniago, 2021).

2.2 A BACTÉRIA DO GÊNERO *Azospirillum* E SUAS FORMAS DE USO

O gênero *Azospirillum brasilense* é composto por bactérias de vida livre que se associam preferencialmente às raízes de gramíneas e de outras espécies agrícolas de interesse econômico. Seu principal mecanismo de ação está relacionado à atividade de microrganismos fixadores de azoto (FBN), processo pelo qual converte o nitrogênio atmosférico (N_2) em formas assimiláveis pelas plantas, reduzindo a dependência do uso de fertilizantes químicos nitrogenados (Oliveira, 2022). Além da FBN, o *Azospirillum brasilense* é amplamente reconhecido como microrganismo promotor de crescimento vegetal. A bactéria atua na produção de fitormônios, tais como citocininas, auxinas e giberelinas, promovem a formação e o alongamento das raízes, aumentando a superfície de absorção e, conseqüentemente, a eficiência no aproveitamento de água e nutrientes (Krol, 2025). Essa característica confere maior tolerância das plantas a estresses ambientais, como déficit hídrico, salinidade e baixa fertilidade dos solos, tornando a inoculação uma prática estratégica para a agricultura em regiões tropicais.

Estudos recentes também evidenciam que o *Azospirillum brasilense* pode interagir sinergicamente com a microbiota do solo, contribuindo para o ciclo de nutrientes e a otimização das propriedades químicas e físicas do ambiente radicular (ANPII, 2022). Assim, a utilização dessa bactéria em sistemas agrícolas representa não apenas ganhos de produtividade, mas também um avanço para práticas sustentáveis, alinhadas à redução do impacto ambiental da adubação convencional.

2.3 INOCULAÇÃO EM SEMENTES

As principais formas de aplicação do *Azospirillum brasilense* diferem em função das suas características do produto, da cultura e do sistema de produção. Entre as técnicas mais empregadas estão a inoculação nas sementes e a deposição em linha de plantio.

A inoculação direta nas sementes consiste em aplicar o inoculante, seja líquido ou turfoso, sobre o material de plantio antes da semeadura. Essa técnica favorece o contato imediato da bactéria com a raiz logo após a germinação, promovendo colonização precoce e rápida ação dos mecanismos de fixação do nitrogênio (Oliveira, 2022). No entanto, deve-se atentar à compatibilidade com os defensivos agrícolas usados no tratamento de sementes, pois alguns princípios ativos podem comprometer a viabilidade da bactéria, reduzindo sua eficiência.

Quando as sementes já foram tratadas ou quando o produtor não dispõe de estrutura adequada para retratamento, a aplicação no sulco de plantio apresenta-se como alternativa viável. Essa prática é realizada com pulverizadores adaptados às semeadoras, permitindo que o inoculante seja aplicado diretamente no momento da semeadura. A técnica tem como vantagens a distribuição uniforme da calda e o contato imediato com o ambiente radicular em formação, resultando em maior eficiência de colonização e fixação biológica do nitrogênio (Krol, 2025).

Segundo recomendações da Associação Nacional dos Produtores e Importadores de Inoculantes (2022), a aplicação no sulco deve ser preferencial em culturas como o milho, em que a resposta à inoculação com *Azospirillum brasilense* é mais expressiva. Essa modalidade apresenta ainda benefícios adicionais, como a redução da competição do inoculante com defensivos químicos aplicados sobre as sementes e a possibilidade de uso em áreas de cultivo de grande extensão, sem comprometer a logística da operação.

2.4 PULVERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DO *Azospirillum*

Outra forma de utilização do *Azospirillum brasilense* é a pulverização diretamente no sulco de semeadura. Essa técnica vem ganhando destaque pela possibilidade de associar a operação de semeadura à inoculação em áreas extensivas, conferindo maior eficiência operacional. Durante a pulverização, a calda inoculante adere ao solo próximo às sementes, o

que aumenta as chances de colonização das raízes em crescimento e potencializa a eficácia da fixação do nitrogênio (Oliveira, 2022).

De acordo com a ANPII (2022), a pulverização no sulco representa uma das estratégias mais promissoras, uma vez que alia praticidade, eficiência e sustentabilidade. Além de promover maior aproveitamento do inoculante, reduz a necessidade de doses elevadas de fertilizantes químicos nitrogenados, contribuindo para a diminuição de custos de produção e para a mitigação dos impactos ambientais do uso intensivo de insumos sintéticos.

A técnica exige, entretanto, alguns cuidados técnicos. É essencial que os pulverizadores estejam devidamente calibrados e compatíveis com a semeadora, de forma a garantir distribuição homogênea da dose. Também deve ser verificada a compatibilidade físico-química da calda, evitando entupimentos dos bicos e assegurando a integridade das bactérias aplicadas (Krol, 2025).

Além da pulverização no sulco, há formulações líquidas que podem ser aplicadas em toletes para produção de mudas, ou diretamente sobre sementes não tratadas, enquanto o inoculante turfoso permanece restrito ao uso via semente (Krol, 2025). Essas modalidades ampliam as possibilidades de uso da bactéria, permitindo que seja adaptada a diferentes sistemas de cultivo.

3 METODOLOGIA

O experimento foi realizado de março a agosto, na Fazenda Colibri, localizada no município de Cruzília, estado de Minas Gerais, correspondendo, respectivamente, a latitude e longitude de 21°40'56"S 45°25'19"W, Altitude 877,87 m, georreferenciadas via Google Earth (Google LLC, 2025). A área experimental situa-se a uma altitude de 1.031,4 metros, em um solo classificado como argilo-arenoso. O clima predominante na região é classificado como de transição entre seco e úmido. A área destinada ao experimento corresponde a 8,9 hectares, denominada Talhão Casarão. Anteriormente, nesta área, foram cultivados soja e milho nas safras de 2022 e 2023, e soja e milheto nas safras de 2023 e 2024. O preparo do solo consistiu na aplicação a lanço de 100 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (15 % de K₂O), realizada em março de 2025. Posteriormente, foi realizada a semeadura do milheto, logo após a colheita da soja. Utilizou-se uma semeadora Vence Tudo, modelo de 33 linhas, com espaçamento entre linhas de 0,17 metros, acoplada a um trator John Deere 150J. O adubo de plantio, composto por 150 kg/ha⁻¹ de MAP (12-54-00), foi depositado junto à linha de semeadura. Simultaneamente, foram

aplicados a lanço 100 kg/ha⁻¹ de ureia (44 % de N) e 100 kg/ha⁻¹ de cloreto de potássio (00-00-58).

Tabela 1. Atributos de Fertilidade do solo (safra de 2022) na área de implantação do experimento Cruzília/MG, 2025.

Atributos do solo	Valor
pH em Ca Cl ₂	5,66
Fósforo (resina)	44,18 mg·dm ⁻³
Potássio	0,28 cmol _a ·dm ⁻³
Cálcio	4,50 cmol _a ·dm ⁻³
Magnésio	1,36 cmol _a ·dm ⁻³
Saturação por alumínio (m%)	0 %
Saturação por base (v%)	70,09 %

A estrutura experimental empregada foi em blocos casualizados (DBC), utilizados 5 tratamentos e 5 repetições, resultando em 25 parcelas experimentais. Cada parcela foi composta por 16 plantas por metro linear, com área total de 8 plantas centrais, espaçamento de 2×3 metros, correspondendo a uma área de 120m², uma distância de 0,17m entre linhas. Os tratamentos consistiram em cinco diferentes doses do inoculante líquido à base de *Azospirillum brasilense* (Brandt Azoforce). A primeira aplicação foi feita antes do perfilhamento, e após 15 dias foi feita a segunda aplicação durante o emborrachamento das plantas. Os cinco tratamentos utilizados no experimento podem ser analisados na tabela 2.

Tabela 2. Tratamentos utilizados com diferentes doses de *Azospirillum brasilense* na cultura do milho. Cruzília/MG, 2025.

Tratamentos	Doses aplicadas dos produtos (L/ha ⁻¹)
T1 – Testemunha (sem aplicação)	-
T2 – <i>Azospirillum brasilense</i>	10ml
T3 – <i>Azospirillum brasilense</i>	20ml
T4 – <i>Azospirillum brasilense</i>	30ml
T5 – <i>Azospirillum brasilense</i>	40ml

As aplicações foram realizadas com bomba costal manual, modelo PJH da marca Jacto, com capacidade de 20 litros. Todas as pulverizações foram executadas pelo mesmo operador, mantendo-se constantes a intensidade e o volume de calda por unidade de área, sendo a

quantidade do inoculante a única variável entre os tratamentos. As pulverizações foram realizadas em intervalos regulares de 15 dias, de modo a assegurar uniformidade na condução do experimento. As variáveis analisadas foram produtividade, massa fresca, massa seca e sistema radicular.

As avaliações das variáveis de interesse foram realizadas de acordo com protocolos previamente estabelecidos na literatura científica. Massa fresca da parte aérea: realizou-se coleta de amostras da parte aérea, as quais passaram por processo de limpeza para remoção de impurezas e, logo após, as amostras foram submetidas à pesagem utilizando a balança de precisão, determinando-se a massa fresca total (Benincasa, 2003). Massa seca da parte aérea: posteriormente, as mesmas amostras foram submetidas ao processo de secagem em estufa de ventilação forçada, mantida a 65 °C, até atingirem peso constante. O processo de secagem foi monitorado em intervalos de duas vezes por semana (a cada sete dias), garantindo maior rigor no acompanhamento da perda de umidade e estabilização da biomassa (Benincasa, 2003). Comprimento do sistema radicular: a avaliação foi conduzida a partir da retirada completa das plantas do solo, seguida da lavagem criteriosa das raízes para a remoção de impurezas. Em seguida, foi realizada a análise biométrica, que incluiu a mensuração do comprimento total das raízes e observações relacionadas ao seu desenvolvimento morfológico (Bohm, 1997; Valentine et al., 2012). Produtividade: foi estimada a partir do peso das amostras (massa fresca) multiplicado pela área total da parcela, permitindo a extrapolação dos dados para a escala de produção (Bohm, 1997; Valentine et al., 2012).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANAVA) utilizando o programa Sisvar, sendo o fator quantitativo submetido à análise de regressão (Ferreira, 2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme os resultados da análise de variância realizada, observou-se que as variáveis Massa Fresca da Parte Aérea (MF); Massa Seca da Parte Aérea (MS); Comprimento do Sistema Radicular (SR) e Produtividade (t/ha) apresentaram resultados significativos a 5% de probabilidade ($Pr > F_c$) (Tabela 3).

Tabela 03. Análise de variância (ANOVA) para as variáveis Massa Fresca da Parte Aérea (MF); Massa Seca da Parte Aérea (MS), Comprimento do Sistema Radicular (CSR) e Produtividade (t/ha) em diferentes doses de *Azospirillum brasilense* na produtividade do milho. Cruzília, MG, 2025.

FV	GL	Pr>Fc (MF)	Pr>Fc (MS)	Pr>Fc (CSR)	Pr>Fc (Produtividade)
Tratamento	4	0,000**	0,000**	0,000**	0,000**
Bloco	4				
Erro	16				
Total	24				
CV%		14,74	13,23	8,12	14,74
Média Geral		110,96	25,04	10,03	22,02

**; significativo a 5%

Os resultados do gráfico 01 mostraram um aumento expressivo e significativo no peso da massa fresca das plantas com o aumento da dose do inoculante, indicando o efeito do crescimento. Observa-se que a massa fresca passou de aproximadamente 73g na ausência do inoculante para cerca de 160g na dose máxima (40ml), representando um aumento em relação à testemunha, sugerindo que o microrganismo tem potencial de estimular o desenvolvimento vegetal.

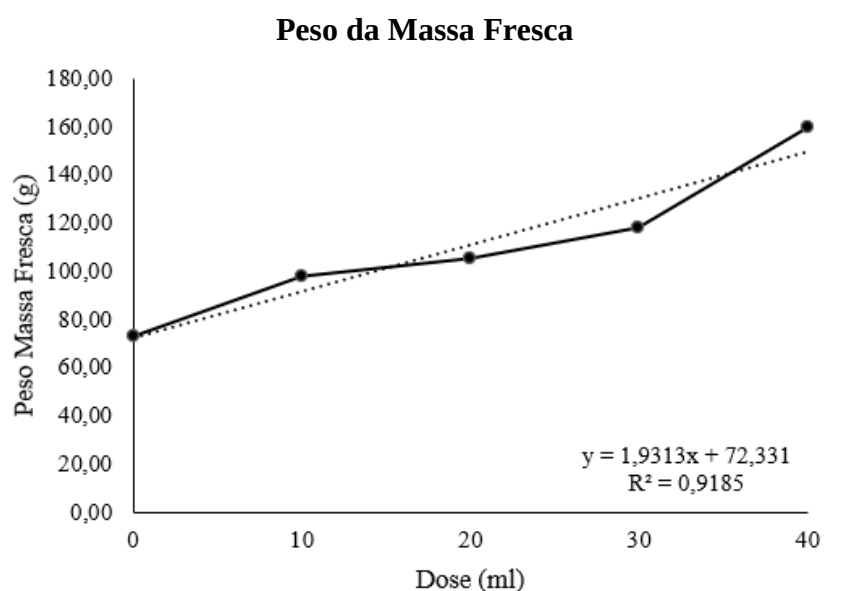


Gráfico 01. Médias de peso da massa fresca (g) do milho em diferentes doses de *Azospirillum brasilense* na produtividade do milho. Cruzília, MG, 2025.

Este efeito pode estar associado à fixação biológica de nitrogênio e à síntese de reguladores vegetais (auxinas, citocininas e giberelinas), frequentemente relatados para o gênero *Azospirillum brasilense*. De forma semelhante, Andrade et al. (2019) observaram desenvolvimento na massa fresca de plântulas de sorgo tratadas com o inoculante, indicando que os benefícios não se restringem a uma única cultura.

Esses resultados são confirmados por uma pesquisa conduzida por Da Silva et al. (2021) que demonstrou que a co-inoculação de sementes de milho com *Azospirillum brasilense* e microrganismos eficazes resultou em aumento de 30% referente à altura das plantas e no diâmetro do caule 30 dias após a semeadura, e de desenvolvimento da massa seca e fresca da parte aérea e da raiz aos 60 e 90 dias após a semeadura.

Estudos realizados por Cazarim et al. (2021) demonstraram que sementes de milho tratadas com *Azospirillum brasilense* apresentaram melhor germinação e maior vigor inicial mesmo sob estresse hídrico simulado, o que confirma que os efeitos benéficos do inoculante já se expressam nas primeiras fases do desenvolvimento, contribuindo para a formação de plântulas mais fortes e adaptáveis a condições adversas.

Os valores de massa seca mostraram que o inoculante influenciou positivamente o acúmulo de biomassa. A testemunha (0ml) apresentou em média 20g, enquanto a maior dose (40ml) atingiu 35g, representando um incremento de aproximadamente 67% em relação ao controle. Observa-se que nas doses intermediárias houve variação, com leve redução em 20ml (20g) e aumento mais expressivo a partir de 30ml (26g), indicando que os efeitos do *Azospirillum brasilense* podem se manifestar de forma mais consistente em doses mais elevadas. Uma possível explicação para a resposta é o ajuste fisiológico da planta ao inoculante.

Peso da Massa Seca

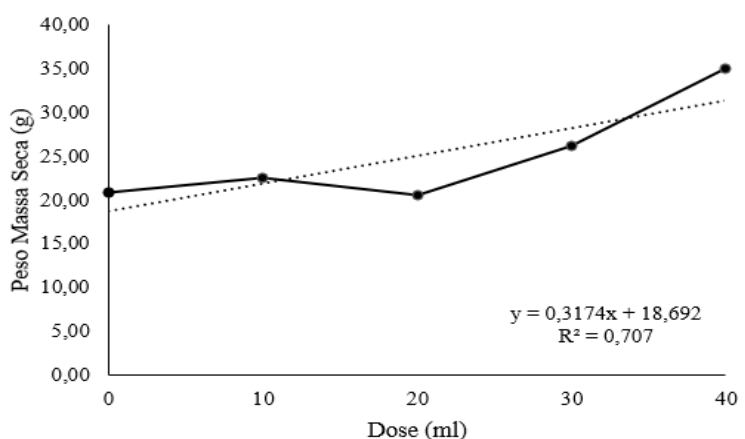


Gráfico 02. Médias de peso da massa seca (g) do milho em diferentes doses de *Azospirillum brasilense* na produtividade do milho. Cruzília, MG, 2025

Segundo Cassán e Diaz-Zorita (2011), os efeitos da inoculação dependem da interação entre a concentração do microrganismo, a espécie vegetal e as condições ambientais, o que pode justificar as menores respostas em doses intermediárias. Estudos de Bashan e Bashan (2005) ressaltam que a produção de fitormônios como auxinas e citocininas pode variar em função da densidade bacteriana, influenciando diretamente o acúmulo de biomassa seca.

Outro ponto relevante é que o aumento da massa seca com *Azospirillum brasilense* também pode estar relacionado ao estímulo no crescimento radicular. De acordo com Hungria et al. (2010), a inoculação promove maior desenvolvimento de raízes, o que amplia a assimilação da água e nutrientes e, conseqüentemente, sustenta maior acúmulo de matéria seca. Resultados semelhantes foram relatados por Quadros et al. (2020), em que a inoculação elevou a massa seca de sorgo e milho, confirmando a contribuição da bactéria no incremento da produtividade.

Os resultados do gráfico 3 evidenciam o efeito positivo do *Azospirillum brasilense* sobre o desenvolvimento do sistema radicular. Enquanto a testemunha apresentou média de apenas 4cm, a dose de 10ml já promoveu aumento expressivo para 10cm quase triplicando o valor inicial. A tendência de desenvolvimento manteve-se até a dose de 40ml, com crescimento radicular máximo de 13cm.

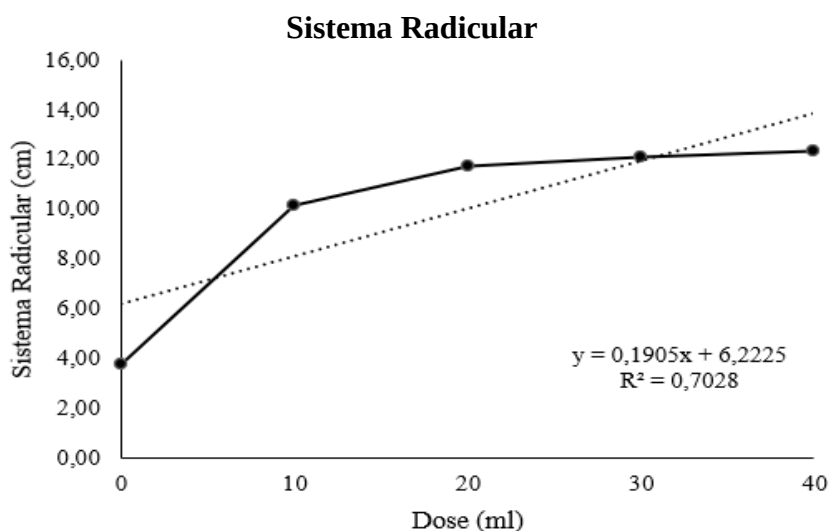


Gráfico 03. Médias de Comprimento do sistema radicular (cm) do milho em diferentes doses de *Azospirillum brasilense* na produtividade do milho. Cruzília, MG, 2025.

Esse comportamento está de acordo com os mecanismos fisiológicos atribuídos ao microrganismo, que, além da fixação biológica de nitrogênio, é capaz de sintetizar auxinas em quantidades relevantes. As auxinas estão diretamente relacionadas ao alongamento celular e à emissão de raízes laterais, fatores essenciais para o aumento da exploração do solo (Oliveira et al, 2022).

Como apontado por Dias et al. (2021), a inoculação com *Azoapirillum brasilense* em plantas de milho promoveu maior comprimento e volume radicular, resultando em melhor aproveitamento da umidade e dos nutrientes disponíveis no solo. De forma semelhante, Bashan et al. (2005) destacam que a colonização bacteriana em raízes favorece a modulação hormonal e induz alterações morfofisiológicas que ampliam a capacidade de absorção.

O aumento no crescimento radicular observado neste trabalho reforça a importância do uso do inoculante para melhorar a resiliência das plantas em condições adversas, como déficit hídrico e baixa fertilidade, já que raízes mais profundas e ramificadas ampliam a capacidade de busca por água e nutrientes.

Os resultados apresentados no Gráfico 04 demonstram que o incremento das doses de *Azospirillum brasilense* promoveu aumento expressivo na produtividade do milho em t/ha. A testemunha (0ml) apresentou produtividade aproximada de 14,5 t/ha, enquanto a maior dose (40ml) atingiu cerca de 32t/ha, representando um ganho superior em relação ao controle. Esse aumento confirma que a inoculação não atua apenas no crescimento inicial das plantas, mas repercute diretamente no acúmulo final de biomassa convertido em produtividade agrícola por área.

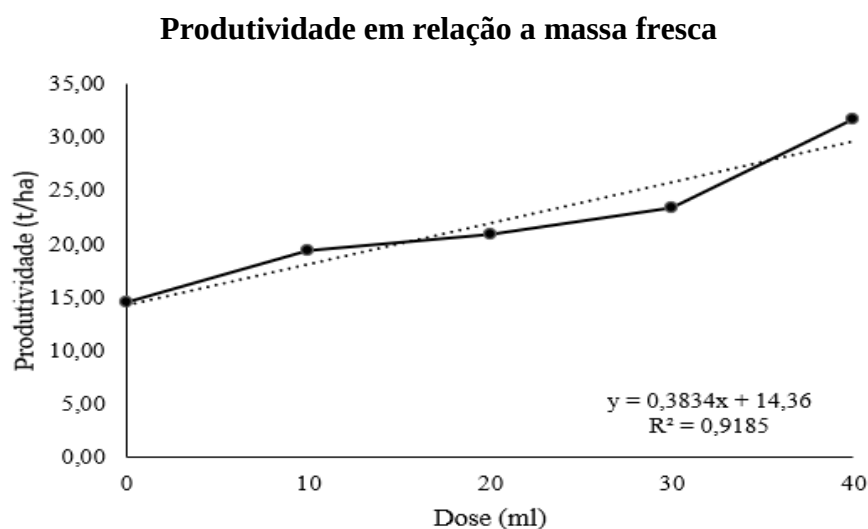


Gráfico 04. Médias da produtividade (t/ha) do milho em diferentes doses de *Azospirillum brasilense* na produtividade do milho. Cruzília, MG, 2025.

Esses resultados são coerentes com estudos conduzidos por Hungria et al. (2010) que verificaram incremento significativo no rendimento de cereais inoculados com *Azospirillum brasilense*, atribuindo o efeito à maior eficiência na absorção de nutrientes decorrente da estimulação radicular. Similarmente, Quadros et al. (2020) observaram aumento expressivo na produção de matéria seca e produtividade final em sorgo inoculados, destacando que a bactéria atua principalmente na fase inicial do desenvolvimento, o que reflete em melhor desempenho nas fases seguintes.

Do ponto de vista fisiológico, a ação promotora de crescimento observada no presente estudo pode estar associada não apenas à fixação biológica do nitrogênio, mas também à produção de reguladores vegetais como auxinas, citocininas e giberelinas, amplamente relatados para o gênero *Azospirillum brasilense*. Tais compostos favorecem a expansão celular, ampliação da rede radicular e a maior eficiência fotossintética (Oliveira et al., 2022), resultando em plantas mais vigorosas e com maior capacidade de exploração do solo. Esse mecanismo auxilia a planta a suportar variações ambientais e aumenta sua eficiência no uso da água e nutrientes, o que se traduz em ganho produtivo ao final do ciclo. No presente estudo, percebe-se que o incremento mais expressivo ocorre nas doses mais elevadas (30 e 40ml), indicando que o benefício do inoculante manifesta-se de forma gradual e contínua, com maior resposta em níveis mais altos de inoculação.

Resultados semelhantes foram expostos por Branco et al. (2025), que observaram que doses ampliadas de *Azospirillum brasilense* favoreceram não apenas a biomassa aérea, mas também maior produtividade final em milho, especialmente em ambientes de menor disponibilidade de nutrientes.

5 CONCLUSÃO

O inoculante a base de *Azospirillum brasilense* influenciou diretamente no incremento das características fitotécnicas de plantas de milheto quando do aumento da dose em condições de campo, sendo que a dose de 40 ml/ha permitiu maior desenvolvimento das plantas.

REFERÊNCIAS

- AGROINTELI. **Importância do milheto.** Disponível em: <<https://blog.agrointeli.com.br/blog/importancia-do-milheto/>>. Acesso em: 8 mar. 2025.
- ANDRADE, Agner et al. **Modos de inoculação de *Azospirillum brasilense* em milho e sorgo.** Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 49, p. e53027-e53027, 2019.
- ANPII - **Associação Nacional dos Produtores e Importadores de Inoculantes.** Recomendações para uso de inoculantes no Brasil. Brasília: ANPII, 2022. Disponível em: <ANPII - Associação Nacional dos Produtores e Importadores de Inoculantes. Recomendações para uso de inoculantes no Brasil. >. Acesso em: 29 ago. 2025.
- BRANCO, Juscelino Da Silva Castelo et al. **Efeito do silício e bactérias fixadoras de nitrogênio nos parâmetros morfoprodutivos e no valor nutricional de silagens de milho na forma de ração total para ovinos e bovinos.** 2025. Disponível em: <https://tedebc.ufma.br/jspui/bitstream/tede/6160/2/JUSCELINO%20DA%20SILVA%20CASTELO%20BRANCO.pdf> . >. Acesso em: 29 set. 2025.
- BASHAN, Y.; BASHAN, L.E. **Promoção do crescimento de plantas.** Em: HILLEL, D. (Ed.). Enciclopédia do solo no meio ambiente. Oxford: Elsevier, 2005. p. 103-115.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas.** 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p. Disponível em: <<https://blog.agrointeli.com.br/blog/importancia-do-milheto/>>. Acesso em: 8 mar. 2025.
- CASSÁN, F. et al. **Aspectos básicos e tecnológicos da produção de fitohormônios por microrganismos: *Azospirillum* sp. como modelo de rizobactéria promotora do crescimento vegetal.** In: Maheshwari, Dk (Ed.). Bactérias em agrobiologia: manejo de nutrientes para plantas. Heidelberg: Springer, 2011. p. 141-182.
- CAZARIM, P. H. et al. **Desempenho inicial de sementes de milheto tratadas com Tiametoxam e *Azospirillum brasilense* em condições de deficiência hídrica simulada.** *Acta Iguazu*, Londrina, v. 10, n. 2, p. 90–99, 2021.
- CPT. **Vantagens e formas de uso do *Azospirillum* na lavoura.** Disponível em: <<https://www.cpt.com.br/cursos-agricultura/artigos/vantagens-e-formas-de-uso-do-a-zospirillum-na-lavoura>>. Acesso em: 8 abr. 2025.
- DA SILVA, Flavio Vicente et al. **A ação sinérgica de *Azospirillum brasilense* e microrganismos eficazes promove o crescimento e aumenta a produtividade do milho verde.** Scientia Plena, v. 17, n. 4, 2021.
- DIAS, Albiane Carvalho et al. **Metabolismo de nitrogênio em plantas de milho inoculadas com dois gêneros de bactérias *diazotróficas*.** 2021.
- DOBBSS, L. B. et al. **The role of bacterial endophytes in the development of plants.** Brazilian Journal of Microbiology, v. 41, n. 4, p. 893-906, 2010.

DE OLIVEIRA, Alexandre Alonso et al. Nitrogênio e formas de aplicação de *Azospirillum* brasilense em milho cultivado em solo arenoso. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 11, n. 13, pág. e56411335819-e56411335819, 2022.

DIAS, Albiane Carvalho et al. **Metabolismo de nitrogênio em plantas de milho inoculadas com dois gêneros de bactérias diazotróficas**. 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Azospirillum: um velho novo aliado**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-depublicacoes//publicacao/1057259/azospirillum-um-velho-novo-aliado>>. Acesso em: 22 mar. 2025.

HUNGRIA, M. et al. **Inoculação com *Azospirillum* brasilense: uma nova tecnologia para o sistema de produção de milho e trigo**. Londrina: Embrapa Soja, 2010. (Comunicado Técnico, 325).

HUNGRIA, M., Campo, RJ, Souza, EM et al. **Inoculação com linhagens selecionadas de *Azospirillum* brasilense e *A. lipoferum* melhora a produtividade de milho e trigo no Brasil**. *Plant Soil* 331, 413–425 (2010).

KICHEL, A .N.; MIRANDA. C.H.B. Uso do **milheto como planta forrageira**. Disponível em:< app/VVTidFx6LbMThjmZ8 > . Acesso em: 8 mar. 2025.

KROL, R. **Avanços no Uso de Inoculantes Biológicos na Agricultura**. Revista Brasileira de Microbiologia Agrícola, v. 12, n. 1, p.45-59, 2025. Disponível em:< <https://www.scielo.br/j/qn/a/y3NDqQZ3NRgXyStGvqfLKHS/?lang=pt> >. Acesso em: 29 ago. 2025.

MARTINS DA SILVA, Evelise. **Milheto: como cultivar e suas vantagens para agropecuária**. 2019. Disponível em:< <https://search.app/exdc8pVohUtS27Wx6/> >. Acesso em: 8 mar. 2025.

OLIVEIRA,J.C. **Inoculacao de *Azospirillum* em culturas agricolas praticas e resultados**. Revista Ciencia Agronomica , v.53, n.4,p.1-12,2022. Disponível em:<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/29676/1/Inoculacao-com-azospirillum.pdf>>. Acesso em: 29 ago. 2025.

Promotoras de crescimento. Disponível em: <<https://search.app/N6RDJBZRxyp3Vjed9> >. Acesso em: 8 mar. 2025.

QUADROS, J. et al. Efeito da inoculação com *Azospirillum* brasilense em plântulas de sorgo. 2020.

SERATTO,Celso Daniel.**O milheto se mostra uma boa opção no manejo dos solos e na alimentacao humana**. Disponível em: <<https://search.app/RPKQWf85niNR6idB8> >. Acesso em: 18 mar. 2025.

SILVA, T. O.; SOUSA, D. M. G.; VIVALDI, L. J. **Milheto como planta de cobertura em sistemas conservacionistas**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 42, p. 1-10, 2018.

TECNOLOGIA NO CAMPO. **Azospirillum: entenda como essa bactéria pode auxiliar no crescimento das plantas.** 2021. Disponível em: <<https://tecnologianocampo.com.br/azospirillum/>>. Acesso em: 8 mar. 2025.

VALENTINE, T. A.; HALLETT, P. D.; BENGOUGH, A. G.; ROOS, K.; RUTTER, A.; MOONEY, S. J. **Soil strength and macropore volume limit root elongation rates in many UK agricultural soils.** *Annals of Botany*, v. 110, n. 2, p. 259-270, 2012.