



**DESENVOLVIMENTO DE PLANTULAS DE MILHO COM O USO DE  
BIOESTIMULANTES E PROMOTORES DE CRESCIMENTO**

***DEVELOPMENT OF THE CORN ROOT SYSTEM USING BIOSTIMULANTS  
AND GROWTH PROMOTERS***

Ana Laura Sodré Martins<sup>1</sup>; Cleidson Soares Ferreira<sup>2</sup>

**RESUMO**

O milho (*Zea mays* L.)   uma das principais culturas agrícolas do Brasil, cuja produtividade está fortemente associada   eficiência do sistema radicular. Nesse contexto, o uso de bioestimulantes e promotores de crescimento tem se destacado como uma alternativa sustentável para potencializar o desenvolvimento vegetal. O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes bioestimulantes sobre o desenvolvimento radicular do milho comum e híbrido, em condi es controladas. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), sendo quatro produtos comerciais e uma testemunha e dois tipos de milho, comum e híbrido, totalizando 10 tratamentos. Posteriormente, foram avaliadas variáveis morfológicas como velocidade de emergência, diâmetro de caule, comprimento de raiz, massa fresca e massa seca. Os resultados indicaram que o tratamento contendo microrganismos promotores de crescimento aplicado em milho híbrido apresentou os maiores valores de comprimento radicular e de massa fresca e seca, evidenciando sinergia entre o potencial genético e os bioinsumos utilizados. Em contrapartida, os parâmetros da parte aérea não diferiram estatisticamente entre os tratamentos, sugerindo que os efeitos dos bioestimulantes se manifestam inicialmente no sistema radicular. Conclui-se que a aplica o de bioestimulantes, em especial aqueles à base de microrganismos e extratos de algas, contribui significativamente para o vigor inicial e o desenvolvimento radicular do milho, podendo representar uma estratégia eficiente e sustentável para o incremento da produtividade.

**Palavras-chave:** *Zea mays*; Bioinsumos; Crescimento vegetal.

**ABSTRACT**

*Corn (Zea mays L.) is one of the main agricultural crops in Brazil, and its productivity is*

<sup>1</sup> Bacharelado em Agronomia, Centro Universitário do Sul de Minas – Unis/MG.

Ana.martins4@aluno.unis.edu.br

<sup>2</sup> Doutor, Centro Universitário do Sul de Minas. cleidson.ferreira@professor.unis.edu.br

*strongly associated with the efficiency of its root system. In this context, the use of biostimulants and growth promoters has stood out as a sustainable alternative to enhance plant development. This study aimed to evaluate the effect of different biostimulants on the root development of common and hybrid corn under controlled conditions. The experiment was conducted in a completely randomized design (CRD), with four commercial products and a control, and two types of corn, common and hybrid, totaling 10 treatments. Subsequently, morphological variables such as emergence speed, stem diameter, root length, fresh mass, and dry mass were evaluated. The results indicated that the treatment containing growth-promoting microorganisms applied to hybrid corn showed the highest values for root length and fresh and dry mass, demonstrating synergy between the genetic potential and the bio-inputs used. Conversely, the shoot parameters did not differ statistically between treatments, suggesting that the effects of biostimulants initially manifest in the root system. It is concluded that the application of biostimulants, especially those based on microorganisms and algae extracts, significantly contributes to the initial vigor and root development of maize, and may represent an efficient and sustainable strategy for increasing productivity.*

**Keywords:** *Zea mays*; Bioinputs; Plant growth.

## 1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma das principais culturas agrícolas do mundo e, no Brasil, a produção se concentra, especialmente, nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. De acordo com o 11º levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento, estima-se que a safra 2024/2025 atinja uma colheita total de 137 milhões de toneladas, a maior já registrada até então (CONAB, 2025). Esse desempenho expressivo está diretamente relacionado ao avanço tecnológico no setor agrícola, envolvendo desde o melhoramento genético das cultivares até a adoção de sistemas de manejo mais eficientes, como plantio direto, agricultura de precisão e a utilização de insumos biotecnológicos.

Nesse cenário, os bioestimulantes surgem como insumos estratégicos, atuando na melhoria do desenvolvimento radicular, na absorção de nutrientes e na tolerância a condições adversas, potencializando o desempenho produtivo da cultura. Esses produtos atuam no metabolismo vegetal sem causar impactos ambientais, auxiliando na redução da dependência de fertilizantes sintéticos e na preservação dos recursos naturais (Costa *et al.*, 2023). Assim, o uso de bioestimulantes e promotores de crescimento vem sendo amplamente estudado como estratégia para potencializar o desempenho fisiológico das plantas e melhorar seu estabelecimento inicial no campo (Du Jardin, 2015).

Complementarmente, as pesquisas apontam que a aplicação de bioestimulantes à base de extratos de algas, aminoácidos ou reguladores de crescimento pode resultar em

incremento significativo na produtividade do milho, especialmente quando associada a práticas modernas de manejo e adubação equilibrada (Silva *et al.*, 2023). Dessa forma, este estudo visa contribuir para a ampliação do conhecimento científico sobre o uso de bioestimulantes e promotores de crescimento, explorando os processos fisiológicos e bioquímicos envolvidos na resposta das plantas ao seu uso, com foco na indução e fortalecimento do sistema radicular.

Considerando que um sistema radicular bem desenvolvido é fundamental para a exploração do solo e para o suprimento hídrico e nutricional das plantas, compreender os efeitos dos bioestimulantes e promotores de crescimento sobre essa estrutura torna-se essencial para o desenvolvimento de estratégias agrícolas mais eficientes e sustentáveis. Frente ao exposto, o presente estudo objetivou avaliar o efeito de bioestimulantes e promotores de crescimento no desenvolvimento do sistema radicular de plantas de milho, visando a melhoria do estabelecimento inicial e o aumento da produtividade da cultura. Para isso, parte-se da hipótese de que a aplicação de bioestimulantes favorecerá significativamente o desenvolvimento radicular das plantas de milho, promovendo maior emergência de plântulas, maior comprimento de raízes e incremento na biomassa fresca e seca das raízes. Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes bioestimulantes sobre o desenvolvimento radicular do milho comum e híbrido, em condições controladas.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 A cultura do milho no contexto agrícola**

O milho (*Zea mays* L.) é uma cultura estratégica para a economia global e nacional, sendo utilizado na alimentação humana, animal e na indústria, como na produção de biocombustíveis e bioplásticos. No Brasil, a produção estimada para 2024 é de 116,9 milhões de toneladas, representando queda em relação ao ano anterior devido a condições climáticas adversas e flutuações de mercado (IBGE, 2024).

O sucesso do cultivo está associado à escolha de cultivares adaptadas, práticas de manejo como rotação de culturas e controle de pragas, além da adoção de tecnologias agrícolas modernas (EMBRAPA, 2023). A alta exigência nutricional da cultura, especialmente em nitrogênio, fósforo e potássio, exige um manejo nutricional preciso para assegurar boas produtividades (Coelho et al., 2021).

Apesar de sua importância, o milho enfrenta desafios como variabilidade climática, pragas, doenças e degradação do solo. A variabilidade genética entre variedades influencia diretamente a qualidade dos grãos, como demonstrado em estudos no Vale do Juruá, evidenciando a necessidade de manejos específicos para diferentes cultivares (Araújo et al., 2023). Diante desses desafios, é fundamental investir em práticas agrícolas sustentáveis, melhoramento genético e políticas públicas que ampliem o acesso dos produtores a tecnologias e insumos de qualidade, fortalecendo a resiliência da cultura (EMBRAPA, 2023).

### **2.2 O sistema radicular do milho**

O sistema radicular do milho (*Zea mays* L.) é essencial para o crescimento e a produtividade da planta, sendo influenciado por fatores ambientais e práticas de manejo agrícola. A compreensão da anatomia e da interação das raízes com o ambiente é fundamental para otimizar o cultivo e enfrentar desafios agronômicos (González-Muñoz, 2024).

Anatomicamente, o milho apresenta raízes embrionárias — como a primária e as seminais — e raízes pós-embrionárias, como as nodais e as brace roots, que auxiliam na estabilidade e na absorção de nutrientes (Almeida, 2023). A eficiência dessas funções

depende da arquitetura radicular, que influencia a exploração do solo e a adaptação a diferentes condições ambientais (Almeida, 2023).

Fatores como disponibilidade de água, compactação do solo e oferta de nutrientes afetam diretamente o desenvolvimento radicular. O estresse hídrico e a compactação, por exemplo, podem limitar a absorção de água e nutrientes e reduzir o crescimento das raízes (Huang, 2025).

Práticas de manejo, como a melhoria da estrutura do solo e o aumento da matéria orgânica, são estratégias eficazes para estimular o crescimento radicular. Além disso, a seleção de híbridos com raízes mais profundas favorece a resistência a estresses ambientais e eleva a produtividade (Kalunke, 2024). Assim, o aprofundamento no estudo da anatomia e fisiologia do sistema radicular do milho é vital para o desenvolvimento de estratégias de manejo que maximizem o crescimento e a produtividade da cultura (González-Muñoz, 2024).

### **2.3 Bioestimulantes e promotores de crescimento: conceitos e classificações**

Bioestimulantes são substâncias ou microrganismos aplicados às plantas ou ao solo que estimulam processos naturais, melhorando a absorção de nutrientes, a tolerância ao estresse e a qualidade das culturas, sem fornecer nutrientes diretamente, diferindo assim dos fertilizantes tradicionais (El-Nakhel et al., 2023).

Esses produtos são classificados de acordo com sua origem e composição: extratos de algas marinhas, ácidos húmicos e fúlvicos, hidrolisados de proteínas e aminoácidos, microrganismos benéficos e compostos inorgânicos, como silicatos e fosfitos, todos com efeitos variados no estímulo ao desenvolvimento vegetal (Rodrigues; Nascimento, 2022).

Nos últimos anos, a combinação de diferentes bioestimulantes, como algas e microrganismos, tem sido estudada para potencializar seus efeitos na produtividade e resiliência das culturas (Costa et al., 2022). Paralelamente, a regulamentação desses produtos avançou, com a União Europeia estabelecendo normas específicas que os diferenciam de fertilizantes e pesticidas, facilitando seu uso e comercialização (Batista, 2020).

A crescente preocupação ambiental impulsiona o interesse por bioestimulantes, que oferecem uma alternativa sustentável para o aumento da produtividade agrícola e a preservação do solo (Ferreira; Gomes, 2022). Assim, a correta compreensão e

classificação desses produtos são fundamentais para maximizar seus benefícios e promover práticas agrícolas sustentáveis.

#### **2.4 Efeitos fisiológicos e bioquímicos no desenvolvimento radicular**

Os bioestimulantes impactam positivamente o desenvolvimento radicular do milho, regulando hormônios como as auxinas, que estimulam o alongamento celular e a formação de raízes laterais, aumentando a área de absorção de nutrientes (Oliveira e Moura, 2022).

Além disso, eles ativam enzimas antioxidantes como peroxidase e catalase, que combatem o estresse oxidativo nas células radiculares, fortalecendo o crescimento mesmo sob condições adversas (Almeida et al., 2022). A intensificação da fotossíntese também é favorecida, com maior produção de açúcares direcionados às raízes, estimulando a divisão e diferenciação celular (Rodrigues; Silva, 2023).

No nível bioquímico, os bioestimulantes aumentam a expressão de genes ligados ao transporte de nutrientes essenciais como fósforo e potássio, otimizando a eficiência do sistema radicular (Costa et al., 2021). Outra contribuição é a modulação da rizosfera, promovendo a proliferação de microrganismos benéficos que fortalecem a saúde do solo (Menezes et al., 2024). Vale destacar que os efeitos dos bioestimulantes variam conforme sua composição, dose aplicada e condições ambientais, reforçando a importância de estudos contínuos para desenvolver formulações adaptadas às realidades locais (Fernandes et al., 2023).

#### **2.5 Bioestimulantes na agricultura sustentável**

A busca por práticas agrícolas sustentáveis impulsionou o uso de bioestimulantes como alternativa ao uso excessivo de insumos químicos. Esses produtos atuam no metabolismo vegetal sem causar impactos ambientais, auxiliando na redução da dependência de fertilizantes sintéticos e na preservação dos recursos naturais (Costa et al., 2023). Além disso, os bioestimulantes aumentam a resiliência das plantas a estresses abióticos, como seca e salinidade, promovendo maior estabilidade produtiva mesmo em condições adversas (Ferreira e Gomes, 2022). Outra vantagem é a melhoria na eficiência de uso de nutrientes (EUN), permitindo maior aproveitamento dos nutrientes do solo e diminuindo perdas por lixiviação, o que reduz custos e impactos ambientais (Lopes et al.,

2021).

Esses compostos também valorizam a biodiversidade do solo ao estimular a exsudação radicular e favorecer microrganismos benéficos, essenciais para a saúde e produtividade dos cultivos (Silva et al., 2023). A incorporação de bioestimulantes em sistemas agroecológicos tem demonstrado ganhos em qualidade de grãos, vigor das plantas e diversidade agrícola, promovendo práticas sustentáveis e socialmente inclusivas (Ramos et al., 2024).

Para que esses produtos sejam amplamente adotados, é fundamental o investimento em pesquisa científica, capacitação técnica e políticas públicas de incentivo, colaborando para o alcance das metas globais de sustentabilidade agrícola (Batista et al., 2022).

## **2.6 Pesquisas Recentes sobre Bioestimulantes em Milho**

O interesse pela aplicação de bioestimulantes na cultura do milho tem crescido, com resultados expressivos na produtividade e sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Estudos mostram que produtos à base de extratos de algas marinhas aumentam a emissão de raízes adventícias e melhoram o desenvolvimento vegetativo das plantas (Silva et al., 2023).

Pesquisas com substâncias húmicas associadas a micronutrientes indicaram maior crescimento radicular e melhor aproveitamento do fósforo, otimizando a eficiência nutricional da cultura (Costa et al., 2022). Já a aplicação de bioestimulantes com aminoácidos demonstrou redução dos efeitos do estresse hídrico e aumento da produção de grãos, evidenciando sua ação antiestrófica (Martins et al., 2021).

Avanços recentes também destacam o uso combinado de bioestimulantes e inoculantes microbiológicos, potencializando o crescimento radicular e a absorção de nutrientes, como demonstrado em experimentos envolvendo rizobactérias promotoras de crescimento (Lima et al., 2023).

É importante considerar que a resposta aos bioestimulantes varia conforme o genótipo e o ambiente de cultivo, reforçando a necessidade de manejo personalizado (Santos et al., 2024). Embora os resultados sejam promissores, ainda se faz necessário ampliar os ensaios em campo para validar o uso desses produtos em condições comerciais (Ferreira et al., 2023).

### 3 METODOLOGIA

O experimento foi realizado na fazenda, localizada no município de Elói Mendes, sul de Minas Gerais, cujo clima é caracterizado, segundo Köppen, como sendo tropical de altitude (Cwa), com verões chuvosos e invernos secos (Alvares *et al.*, 2013). As coordenadas geográficas do local de estudo são 21,62091°S e 45,53319°O.

O trabalho teve duração aproximada de 12 dias e as análises de massa fresca e massa seca foram realizadas no Laboratório de Análise de Solos do Centro Universitário do Sul de Minas (UNIS), localizado em Varginha – MG. Para a condução do estudo foram utilizados vasos com capacidade de 2 litros (15cm x 15cm), sendo cada vaso considerado uma unidade experimental contendo duas sementes de milho. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC) e em esquema fatorial 5x2x4, sendo quatro produtos comerciais e uma testemunha (Tabela 1) e dois tipos de milho (milho comum e milho híbrido), adotando-se quatro repetições por tratamento.

**Tabela 1** - Descrição dos tratamentos utilizados para avaliar o desenvolvimento do sistema radicular do milho realizado na fazenda. Elói Mendes, MG, 2025.

Trat	Milho	Produto	Princípio Ativo Principal	Doses
T1	Comum	Testemunha	água	
T2	Comum	Spin	Ácido fúlvico + extrato de algas	0,171
T3	Comum	Algamare	Extrato de algas marinhas	0,342
T4	Comum	TMS Power	Aminoácidos livres + micronutrientes	0,250
T5	Comum	Azzoflex	Microrganismos promotores de crescimento	0,171
T6	Híbrido	Testemunha	água	
T7	Híbrido	Spin	Ácido fúlvico + extrato de algas	0,171
T8	Híbrido	Algamare	Extrato de algas marinhas	0,342
T9	Híbrido	TMS Power	Aminoácidos livres + micronutrientes	0,250
T10	Híbrido	Azzoflex	Microrganismos promotores de crescimento	0,171

As doses utilizadas em cada tratamento seguiram as recomendações do fabricante, considerando as especificidades de cada princípio ativo, sendo as aplicações realizadas nas sementes em momento pré-semeadura. Durante o período experimental, as plantas foram mantidas sob temperatura ambiente média de 25 °C, com fotoperíodo

natural e irrigação manual diária, realizada de forma uniforme, evitando excesso de água.

Ao final, foram avaliadas cinco variáveis morfológicas, sendo elas a velocidade de emergência (VE), o diâmetro de caule (DC), o comprimento da raiz principal (CRP), a massa fresca (MFR) e massa seca (MSR) das raízes e massa fresca da planta inteira (MFP). Além das variáveis morfológicas foram avaliadas também o custo-benefício dos insumos, considerando os valores, benefícios agrônômicos e qualidade do produto, a fim de identificar a viabilidade econômica de cada um, sendo possível recomendar ao produtor a melhor opção.

A velocidade de emergência foi obtida por contagem diária das plântulas emergidas em cada vaso, até a estabilização. O diâmetro do caule foi mensurado com paquímetro digital, na base do caule. O comprimento da raiz principal foi medido com régua milimetrada, após a remoção cuidadosa do substrato. A massa fresca foi obtida após lavagem e secagem superficial das raízes, utilizando-se balança de precisão. Para a massa seca, as raízes foram levadas à estufa com circulação de ar forçado a 65 °C por 72 horas, sendo pesadas posteriormente.

As variáveis velocidade de emergência, diâmetro do caule e comprimento radicular foram avaliadas no local do experimento. Já as análises de massa fresca e massa seca foram realizadas no laboratório do UNIS, com controle rigoroso de temperatura e umidade, visando maior precisão dos resultados.

Os dados obtidos foram organizados em planilhas eletrônicas e submetidos à análise de variância (ANOVA). Quando observada diferença significativa entre os tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, utilizando-se o software estatístico Sisvar (Ferreira, 2011).

#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Conforme verificado nas tabelas 2 e 3, as variáveis de diâmetro de caule e massa fresca da planta inteira não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos, sendo que os parâmetros comprimento de raiz, massa fresca da raiz e massa seca da raiz, foi observado diferença estatística entre os tratamentos

**Tabela 2** – Valores de F e significância (p-valor) utilizados

Variável	Fint (p-valor)	Ftratamento (p-valor)	Fmilho (p-valor)
DC	1.11 (0.3689)	2.364 (0.0754)	4.973 (0.0334)
CR	1.88 (0.1387)	1.546 (0.2142)	9.937 (0.0037)
MFR	2.59 (0.0566)	8.773 (0.0001)	7.364 (0.0109)
MSR	3.18 (0.0269)	3.414 (0.0205)	0.522 (0.4758)
MFPA	1.13 (0.3611)	1.952 (0.1275)	1.027 (0.3189)

DC: Diâmetro de Caule; CR: Comprimento de raiz; MFR: Massa fresca de raiz; MSR: Massa seca de raiz; MFPA: massa fresca da parte aérea (planta inteira).

**Tabela 3** - Análise de Variância e teste F para as variáveis avaliadas

Variável	CV (%)	Fint	Ftratamento	Fmilho
DC (Diâmetro de Caule)	13.64	1.11 (ns)	2.36 (ns)	4.97*
CR (Comprimento de Raiz)	23.15	1.89 (ns)	1.55 (ns)	9.94**
MFR (Massa Fresca Raiz)	27.24	2.59 (ns)	8.77**	7.36*
MSR (Massa Seca de Raiz)	19.31	3.19*	3.41*	0.52 (ns)
MFPA (Massa Fresca Planta Inteira)	24.96	1.13 (ns)	1.95 (ns)	1.03 (ns)

\*Significativo a 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ). \*\*Significativo a 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ). ns: Não significativo.

Em relação ao diâmetro de caule (Tabela 4), embora não tenham sido observado diferenças estatísticas entre os tratamentos, percebe-se uma estabilidade no desenvolvimento das plantas, independentemente da aplicação de insumos e bioinsumos. comisso se deve ao fato de que, quando em condições de solo com nutrição adequada ou quando o período de avaliação não abrange as fases de espessamento intenso do caule, essa variável é menos responsiva a estímulos adicionais (Botjor *et al.*, 2022).

A aplicação de insumos biológicos e bioativos, como extratos de algas, aminoácidos livres ou microrganismos promotores de crescimento, podem favorecer o crescimento radicular da planta, ainda que as estruturas da parte aérea tenham permanecido uniformes entre os tratamentos. Ali *et al.* (2021), em experimento com bioestimulantes à base de algas marinhas, verificaram que houve uma maior absorção de nutrientes devido à promoção do crescimento radicular, sem necessariamente haver uma mudança expressiva nos parâmetros da parte aérea.

**Tabela 4** – Diâmetro de caule (cm) do milho sob diferentes tratamentos em experimento realizado em uma fazenda no município de Elói Mendes, Minas Gerais, em 2025.

Tratamento	Milho		Médias	
	Comum	Híbrido		
Testemunha	4.20 Aa	3.87 Aa	4.03	
Spin	3.47 Aa	4.17 Aa	3.72	
Algamare	3.72 Aa	4.17 Aa	3.95	
TMS Power	3.47 Aa	4.15 Aa	3.81	
Azzoflex	4.17 Aa	4.15 Aa	4.48	
Média	3.810	4.196	---	
CV = 13.64	F <sub>int</sub> = 1.11	F <sub>tratamento</sub> = 2.36	F <sub>milho</sub> = 4.97*	DMS <sub>t</sub> = 0.27

\*Teste F significativo a 1% de probabilidade; Letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si segundo teste de Scott-Knott, com 5% de significância; Letras minúsculas nas linhas, não diferem entre si segundo teste ‘t’ com 5% de significância.

Já para o comprimento de raiz (Tabela 5), o tratamento com milho híbrido utilizando o produto TMS Power promoveu resultado superior em relação milho comum, sugerindo uma ação estimuladora desses tratamentos na promoção do desenvolvimento radicular.. Jiang *et al.* (2024) verificaram que a raiz de milho responde ao aumento de nitrato disponível e à melhor condição de água no solo, apresentando tanto maior comprimento radicular como maior área radicular superficial.

Sabe-se que tratamentos contendo extrato de algas, aminoácidos livres ou microrganismos promotores de crescimento atuam favorecendo o sistema radicular por meio de estímulo hormonal, induzindo a produção de auxinas e citocinas, por exemplo e, consequentemente melhorando a absorção de nutrientes e água, conforme relatado em estudos que identificam auxinas e citocininas em extratos de algas (Loconsole et al., 2023) e aumento de absorção de K, Zn, Cu e Mn concomitantemente à maior elongação de raízes (Santi et al., 2017).

**Tabela 5** - Comprimento de raiz (cm) do milho sob diferentes tratamentos em experimento realizado em uma fazenda no município de Elói Mendes, Minas Gerais, em 2025.

Tratamento	Milho		Médias
	Comum	Híbrido	
Testemunha	21.97 Ab	32.85 Aa	27.413
Spin	28.25 Aa	24.30 Aa	26.275
Algamare	25.20 Aa	30.75 Aa	27.975
TMS Power	18.87 Ab	30.12 Aa	24.500
Azzoflex	28.00 Aa	36.17 Aa	32.088
Média	24.46	30.84	---

CV = 23.15       $F_{\text{int}} = 1.89$      $F_{\text{tratamento}} = 1.55$      $F_{\text{milho}} = 9.94^{**}$      $DMS_t = 3.20$

\*Teste F significativo a 1% de probabilidade; Letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si segundo teste de Scott-Knott, com 5% de significância; Letras minúsculas nas linhas, não diferem entre si segundo teste 't' com 5% de significância.

Para a massa fresca da raiz (Tabela 6), o tratamento com milho híbrido e aplicação de Azzoflex, foi superior aos demais, indicando que, o uso de microrganismos promotores de crescimento vegetal favoreceu tanto o alongamento quanto o enchimento radicular. A massa fresca da raiz é um indicador de vigor radicular recente, estando associada à maior atividade metabólica, maior absorção de água e nutrientes e maior potencial de crescimento da parte aérea da planta. Shi *et al.* (2024) observaram que a aplicação de bioestimulantes em milho aumentou expressões genéticas relacionadas ao crescimento radicular e resultou em maiores massas de raiz, atribuindo parte desse avanço à melhoria da microestrutura do solo e das interações rizosféricas.

Assim, o estímulo à produção de hormônio de crescimento radicular, resulta em raízes maiores e, logo, há uma maior exploração do volume do solo, favorecendo a absorção de água e nutrientes e maior biomassa fresca. Nesse contexto, Rouphael *et al.* (2020) mostraram que plântulas de milho tratadas com consórcios de microrganismos e hidrolisados proteicos apresentaram maior massa fresca de raízes e parte aérea, e relacionaram esse aumento ao melhor estado hídrico e à atividade metabólica elevada.

**Tabela 6** - Massa Fresca da Raiz (g) do milho sob diferentes tratamentos em experimento realizado em uma fazenda no município de Elói Mendes, Minas Gerais, em 2025.

Tratamento	Milho		Médias	
	Comum	Híbrido		
Testemunha	1.75 Aa	1.75 Ca	1.750	
Spin	1.75 Aa	2.50 Ba	2.125	
Algamare	1.75 Aa	2.25 Ba	2.000	
TMS Power	1.25 Aa	1.00 Ca	1.125	
Azzoflex	2.00 Aa	3.25 Aa	2.625	
Média	1.70	2.15	---	
CV = 27.24	F <sub>int</sub> = 2.59	F <sub>tratamento</sub> = 8.77**	F <sub>milho</sub> = 7.36*	DMS <sub>t</sub> = 0.26

\*Teste F significativo a 1% de probabilidade; Letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si segundo teste de Scott-Knott, com 5% de significância; Letras minúsculas nas linhas, não diferem entre si segundo teste 't' com 5% de significância.

Porém, é importante evidenciar que a maior massa fresca não necessariamente se traduz em uma maior estrutura de raiz ou persistência funcional ao longo do ciclo da cultura. Isso é, uma massa fresca elevada pode indicar simplesmente que a raiz retenha mais água naquele momento de coleta, e não que haja, por exemplo, maior espessamento de paredes celulares ou reserva de matéria seca. Ocwa *et al.* (2024) concluíram, sob essa ótica, que os efeitos positivos advindos do uso de bioestimulantes dependem muito das condições ambientais, nutricionais e fenológicas e nem sempre se traduzem em ganhos de longo prazo (Ocwa *et al.*, 2024).

A massa seca da raiz (Tabela 7), por sua vez, é um indicador robusto do acúmulo de biomassa estrutural e metabólica do sistema radicular da planta. No presente estudo o tratamento com Azzoflex para milho híbrido apresentou maior massa seca de raiz em comparação aos demais tratamentos para milho híbrido. Nota-se que a presença dos microrganismos promotores de crescimento vegetal, como no caso do Azzoflex, está sendo relacionada ao desencadeamento de respostas relacionadas à divisão celular, síntese de lignina e deposição de compostos estruturais na raiz, resultando em maior acúmulo de matéria seca (Argentel-Martínez *et al.*, 2025).

Estudos recentes mostram que tais insumos aumentam a eficiência de absorção de nutrientes e melhoram o ambiente da rizosfera, potencializando a formação de raízes

mais robustas e densas (Rouphael et al., 2020). Esse efeito, quando associado ao alto potencial genético de cultivares híbridas, é ainda mais pronunciado, o que justifica o desempenho observado no presente estudo. É importante destacar que nem todos os tratamentos com bioinsumos mostraram incremento na massa seca radicular, e isso pode estar relacionado a fatores como a fase fenológica da planta durante a aplicação, a saturação nutricional do solo ou a ausência de estresse que modulasse a expressão dos efeitos dos bioestimulantes (Ocwa *et al.*, 2024).

**Tabela 7** - Massa seca da Raiz (g) do milho sob diferentes tratamentos em experimento realizado em uma fazenda no município de Elói Mendes, Minas Gerais, em 2025.

Tratamento	Milho		Médias	
	Comum	Híbrido		
Testemunha	0.58 Aa	0.43 Bb	0.50	
Spin	0.51 Aa	0.49 Ba	0.50	
Algamare	0.49 Aa	0.46 Ba	0.47	
TMS Power	0.45 Aa	0.37 Ba	0.41	
Azzoflex	0.50 Aa	0.67 Aa	0.59	
Média	0.51	0.48	---	
CV = 19.31	$F_{int} = 3.19^*$	$F_{tratamento} = 3.41^*$	$F_{milho} = 0.52$	$DMS_t = 0.05$

\*Teste F significativo a 1% de probabilidade; Letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si segundo teste de Scott-Knott, com 5% de significância; Letras minúsculas nas linhas, não diferem entre si segundo teste 't' com 5% de significância.

Referente a massa fresca da planta inteira (Tabela 8), não foi observado diferença estatística significativa entre os tratamentos, por mais que este parâmetro seja um indicador que reflete o acúmulo de biomassa total ao conteúdo hídrico dos tecidos, sendo influenciado diretamente pela disponibilidade de água, condições nutricionais e arquitetura da planta. Essa ausência de variação pode ser atribuída ao fato de que, em fases iniciais de desenvolvimento do milho, a biomassa fresca total tende a depender mais da absorção de água e da fotossíntese basal do que de efeitos associados ao uso de bioestimulantes ou microrganismos. Esse comportamento foi relatado por Bojtor *et al.* (2022), que, ao avaliar híbridos de milho cultivados sob diferentes regimes de fertilização, observaram que a massa fresca total das plantas permaneceu estável quando o solo

apresentava disponibilidade adequada de nutrientes e umidade suficiente para suprir as demandas metabólicas, mesmo diante de variações em outros parâmetros da parte aérea.

**Tabela 8** - Massa Fresca da planta inteira (g) do milho sob diferentes tratamentos em experimento realizado em uma fazenda no município de Elói Mendes, Minas Gerais, em 2025.

Tratamento	Milho		Médias	
	Comum	Híbrido		
Testemunha	3.25 ns	3.00 ns	3.12	
Spin	2.75 ns	3.50 ns	3.12	
Algamare	3.50 ns	3.25 ns	3.37	
TMS Power	2.50 ns	2.50 ns	2.50	
Azzoflex	3.00 ns	4.00 ns	3.50	
Média	3.00	3.25	---	
CV = 24.96	$F_{int} = 1.13$	$F_{tratamento} = 1.95$	$F_{milho} = 1.03$	$DMS_t = 0.39$

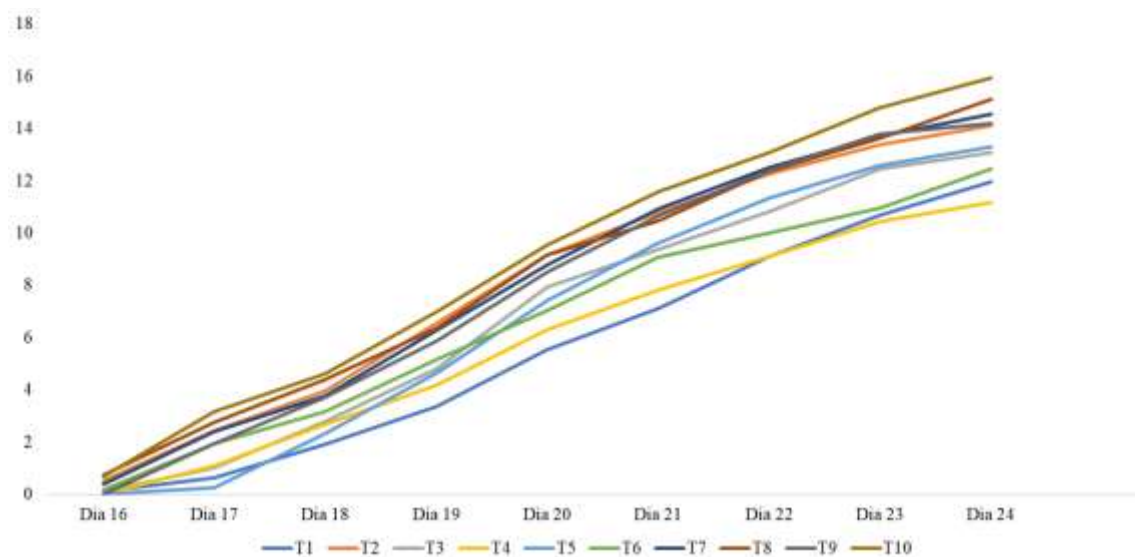
ns: Não significativo

Estudos com bioestimulantes frequentemente relatam que os primeiros efeitos perceptíveis dos insumos tendem a ocorrer no sistema radicular, onde há maior absorção dos compostos ativos, enquanto a tradução dessa resposta para a parte aérea só se expressa de forma marcante em estádios posteriores de crescimento ou sob situações de estresse (Rouphael et al., 2020). Da mesma forma, Shi et al. (2024) relataram que o uso de bioestimulantes promove mudanças transcriptômicas iniciais principalmente em células da raiz, com efeitos secundários no desenvolvimento vegetativo emergindo mais lentamente ao longo do ciclo. Assim, a ausência de variação estatística para a massa fresca da planta inteira neste estudo sugere que a planta se encontrava em uma condição fisiológica equilibrada, com os tratamentos exercendo efeitos localizados que ainda não haviam sido traduzidos para o crescimento aéreo no momento da avaliação.

A velocidade de emergência (Figura 1), onde percebe-se que, ao longo dos dias de avaliação, o Tratamento 10 foi o que apresentou maiores valores de crescimento ao longo dos dias de avaliação, indicando que, para esse tratamento, há uma maior velocidade de desenvolvimento inicial das plântulas em comparação aos demais tratamentos. Esse comportamento pode estar associado ao efeito positivo dos insumos

biológicos utilizados, especialmente microrganismos promotores de crescimento (PGPR) e bioestimulantes naturais, que atuam estimulando o metabolismo vegetal e otimizando a absorção de nutrientes.

**Figura 1** - Velocidade de emergência de plântulas de milho, cultivadas sob diferentes tratamentos, Elói Mendes, MG, 2025.



Além disso, o desempenho superior do T10 pode estar relacionado à interação entre o potencial genético do milho híbrido e o efeito sinérgico dos bioinsumos aplicados, o que explica sua superioridade em relação aos tratamentos com milho comum. Híbridos apresentam maior eficiência fisiológica, maior vigor e maior capacidade de resposta a estímulos externos, característica explicada pelo fenômeno da heterose. Li et al. (2024) destacam que híbridos de milho possuem sistemas radiculares mais robustos e eficientes na absorção de nutrientes, o que reflete em maior crescimento da parte aérea e antecipação da emergência.

Com relação à viabilidade econômica de cada produto testado, tabela 9 apresenta os valores pagos, doses e custo aproximado/ha. Verifica-se que o Azzoflex é o produto que proporciona menor custo de aplicação com maior retorno biológico. Isso é, o produto possibilitou maior desempenho radicular absoluto, maior massa seca da raiz e resultados consistentes em todas as variáveis avaliadas. Assim, para recomendações ao produtor, o Azzoflex representa a opção de maior retorno técnico-econômico, otimizando o desenvolvimento da planta e a eficiência do investimento por hectare.

**Tabela 9** - Valores dos produtos (R\$) consultados em estabelecimentos da cidade de Elói Mendes. Elói Mendes, MG, 2025.

<b>Produto</b>	<b>Valor para 1L (R\$)</b>	<b>Dose/ha</b>	<b>Custo aproximado/ha (R\$)</b>
<b>Spin</b>	190,00	150 mL	28,50
<b>Algamare</b>	88,29	300 mL	26,49
<b>Azzoflex</b>	110,00	150mL	16,50
<b>TMS Power</b>	178,00	178,00	31,68

Fonte: Autora (2025)

## 5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstram que o uso de bioestimulantes e promotores de crescimento exercem influência positiva no desenvolvimento inicial do milho, especialmente quando associado a genótipos híbridos de alto vigor. Embora não tenha sido observada diferença significativa nos parâmetros da parte aérea, houve efeito positivo sobre o sistema radicular, reforçando o papel dos bioestimulantes como ferramenta biotecnológica promissora na agricultura sustentável.

O produto Azzoflex apresentou menor custo por hectare e proporcionou maiores ganhos em vigor radicular, estabelecendo a melhor relação custo– benefício.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALI, O. *et al.* Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: Implications towards Sustainable Crop Production. **Plants**, v. 10, n. 3, p. 531, 2021. Acesso em 04 nov 2025.
- ALMEIDA, L. C. et al. Bioestimulantes na agricultura: uma abordagem fisiológica e molecular. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 35, n. 2, p. 167-180, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjfiolveg.v35n2.2022>.
- ALMELDA, M. F. Root anatomical variation in maize and its relationship with root hydraulics. **New Phytologist**, v. 238, n. 5, p. 1953–1967, 2023. Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/nph.18489>. Acesso em: 5 abr. 2025.
- ARAÚJO, J. E. S. et al. Variabilidade genética de variedades tradicionais de milho cultivadas no Vale do Juruá, Acre. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 10, e592121026390, 2023. Disponível em:

<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/26390>. Acesso em: 05 abr. 2025.

ARGENTEL-MARTÍNEZ, L. *et al.* Enhancement of growth and physiological performance in maize hybrids through a dual consortium of native rhizobacterial strains. **Plant Growth Regulation**, 2025. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10725-025-01354-y>. Acesso em 04 nov 2025.

BATISTA, M. B. T. Eficiência dos bioestimulantes no manejo do déficit hídrico na cultura da soja. **IRRIGA**, v. 25, n. 4, p. 754-763, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.15809/irriga.2020v25n4p754-763>. Acesso em: 5 abr. 2025.

BOJTOR, C. *et al.* Nutrient composition analysis of maize hybrids affected by different nitrogen fertilization systems. **Plants**, v. 11, n.12, 2022.

COELHO, A. M. Exigências nutricionais do milho e recomendações de adubação para altas produtividades. **Embrapa Milho e Sorgo - Documentos**, n. 234, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1134173>. Acesso em: 05 abr. 2025.

COSTA, H. P. *et al.* Aplicação de bioestimulantes e absorção de fósforo em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 57, p. e021009, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab021009>. Acesso em: 5 abr. 2025.

DU JARDIN, P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 3-14, 2015.

EL-NAKHEL, C. *et al.* Biostimulants of Different Origins Increase Mineral Content and Yield of Wild Rocket While Reducing Nitrate Content through Successive Harvests. **Horticulturae**, v. 9, n. 5, p. 580, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9050580>

EMBRAPA. **Milho e Sorgo: pesquisa e inovação para a sustentabilidade da agricultura brasileira. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2023.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo>. Acesso em: 10 abr. 2025.

FERNANDES, T. F. S. **Aplicação foliar de ácido glutâmico e de silício em milho cultivado em campo sob deficiência de nitrogênio.** 2024. 45 f. Tese (Doutorado em Agronomia) — Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), Universidade Estadual Paulista (UNESP), Jaboticabal, 2024

FERREIRA, J. D.; GOMES, C. S. Bioinsumos na agricultura: avanços e desafios da aplicação de bioestimulantes em grandes culturas. **Revista de Biotecnologia Vegetal**, v. 12, n. 1, p. 43-54, 2023. Disponível em <https://doi.org/10.1590/rbv.2023.01201>. Acesso em: 5 mar. 2025.

GONZÁLEZ-MUÑOZ, E. Influence of environmental factors on root system development in maize: a physiological and morphological approach. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, 2024. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2024.1428475/full>. Acesso em: 5 abr. 2025.

HUANG, W. Root morphology and nutrient uptake under different levels of soil compaction in maize. **BMC Plant Biology**, v. 25, 2025. Disponível em: <https://bmcpantbiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12870-025-06066-z>. Acesso em: 5 abr. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento**

**Sistemático da Produção Agrícola – LSPA: fevereiro 2024.** Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/>. Acesso em: 05 abr. 2025.

JIANG, Y. *et al.* A meta-analysis of the effects of nitrogen fertilizer application on maize (*Zea mays* L.) yield in Northwest China. **Frontiers Plant Science**, v. 15, 2024. Doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1485237>. Acesso em: 08 nov 2025.

KALUNKE, R. M. **Soil structure influences maize root system and grain yield under contrasting tillage systems.** *Plant and Soil*, v. 494, p. 23–39, 2024. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10773992>. Acesso em: 5 abr. 2025.

LIMA, A. C. **Interações entre bioestimulantes e rizobactérias promotoras de crescimento em milho.** *Agricultura Sustentável e Biotecnologia*, v. 11, n. 4, p. 233-248, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agrsustbio.2023.112348>. Acesso em: 5 mar. 2025.

LI, Y. *et al.* Integrating heterosis for root architecture and nitrogen use efficiency of maize: a comparison between hybrids from different decades. **Agronomy**, v.14, n.9, 2018. Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy14092018>. Acesso em: 05 nov 2025.

LOCONSOLE, D. *et al.* Biostimulant application, under reduced nutrient supply enhances quality and sustainability of ornamental containerized plants. **Agronomy**, v.13, n.3, 2023. Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy13030765>. Acesso em: 05 nov 2025.

LOPES, M. M. Pulverização dirigida no sulco e inoculação na semente de milho com *Azospirillum brasilense*. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 4, p. e19511427401, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i4.27401>. Acesso em: 5 mar. 2025.

MARTINS, M. F. Efeitos da aplicação foliar de aminoácidos em milho sob estresse hídrico. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 15, n. 1, p. 192-203, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.7127/rbai.v15n1.2021>. Acesso em: 5 mar. 2025.

MENEZES, M. S. *et al.* **Uso de bioestimulantes no desenvolvimento inicial do milho: revisão e evidências recentes.** 2024.

OCWA, A. *et al.* Maize grain yield and quality improvement through biostimulant application: a systematic review. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 24, p. 1609-1649, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1007/s42729-024-01687-z>. Acesso em: 06 nov 2025.

OLIVEIRA, C. G.; MOURA, T. M. Mecanismos fisiológicos de atuação dos bioestimulantes em plantas de milho. **Revista Brasileira de Ecofisiologia Vegetal**, v. 10, n. 1, p. 87-99, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.31401/rbev.2022.v10n1>. Acesso em: 5 abr. 2025.

RAMOS, P. A.; ALMEIDA, L. R. Uso de bioestimulantes em sistemas agroecológicos de produção de milho. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 19, n. 2, p. 150-162, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/rbagroeco.2024.012>. Acesso em: 5 mar. 2025.

RODRIGUES, P. A.; NASCIMENTO, M. R. Bioestimulantes e sustentabilidade agrícola: perspectivas e aplicações. **Revista Interdisciplinar de Ciências Agrárias**, v.

8,  
n. 2, p. 149-162, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.31669/rica.v8n2.2022.149>.  
Acesso em: 5 mar. 2025.

RODRIGUES, M. A.; SILVA, T. R. Efeitos fisiológicos de bioestimulantes no crescimento radicular de milho. **Anais do Encontro de Pesquisa em Agronomia**, 2023.

ROUPHAEL, Y. *et al.* Metabolomic Responses of Maize Shoots and Roots Elicited by Combinatorial Seed Treatments With Microbial and Non-microbial Biostimulants. **Frontiers Microbiology**, v. 11, 2020. Doi: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00664>.  
Acesso em: 09 nov 2025.

SANTI, C. *et al.* Growth stimulatory effects and genome-wide transcriptional changes produced by protein hydrolysates in maize seedlings. **Frontiers Plant Science**, v. 8, 2017. Doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00433>. Acesso em: 09 nov. 2025.

SANTOS, R. M. **Resposta de híbridos de milho à aplicação de bioestimulantes em diferentes regiões brasileiras**. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v. 23, n. 1, p. 101-115, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.18512/1980-6477.rbmrs.v23n1p101-115>.  
Acesso em: 5 abr. 2025.

SHI, J. *et al.* Facilitating Growth of Maize (*Zea mays* L.) by Biostimulants: A Perspective from the Interaction between Root Transcriptome and Rhizosphere Microbiome. **Agricultural and environmental chemistry**, v. 72, p. 3415-3426, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c09062>. Acesso em: 05 nov. 2025.

SILVA, J. P. Avaliação do efeito de bioestimulantes no sistema radicular do milho em solos tropicais. **Agricultura & Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 3, p. 54-68, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.15345/ads.v9n3.2023.054>. Acesso em: 5 abr. 2025.