



QUALIS
A2



RESPOSTAS DO CRESCIMENTO E DA ARQUITETURA DE PLANTAS DE SORGO (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) À APLICAÇÃO DE REGULADOR DE CRESCIMENTO E BIOESTIMULANTE¹

GROWTH AND ARCHITECTURAL RESPONSES OF SORGHUM (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) PLANTS TO A PLANT GROWTH REGULATOR AND BIOSTIMULANT

Rita Ananda dos Santos CRUZ

Afya Centro Universitário (UNITPAC)

E-mail: ritaanandacruz@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0009-0000-9189-2013>

Ozinaldo Pereira da Silva SANTOS

Afya Centro Universitário (UNITPAC)

E-mail: ozinaldopereira17@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0009-0008-5669-7034>

José ANDRÉ JÚNIOR

Afya Centro Universitário (UNITPAC)

E-mail: jose.andre@afya.com.br

ORCID: <http://orcid.org/0009-0008-1119-7685>

RESUMO

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) destaca-se entre as culturas de importância agrícola por sua rusticidade, tolerância ao déficit hídrico e capacidade de adaptação a condições edafoclimáticas restritivas. Objetiva-se avaliar os efeitos do regulador de crescimento ethephon, aplicado isoladamente ou em associação ao bioestimulante Azos, sobre características de crescimento e arquitetura de plantas do híbrido de sorgo K 200 cultivado em sistema de semeadura a lanço. O experimento é conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos: T0 – controle; T1 – Azos; T2 – ethephon; e T3 – Azos + ethephon, com dez repetições, totalizando 40 unidades experimentais. Avaliam-se o comprimento do colmo, o comprimento radicular, o diâmetro do colmo e o teor relativo de clorofila pelo índice SPAD. Os dados são submetidos à análise de variância e, quando significativo o teste F, as médias são comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os tratamentos apresentam efeito significativo apenas sobre o comprimento do colmo ($P = 0,0246$).

¹ COMO CITAR: (ABNT): CRUZ, R. A. S.; SANTOS, O. P. S.; ANDRÉ JÚNIOR, J. Respostas do Crescimento e da Arquitetura de Plantas de Sorgo (*Sorghum Bicolor* (L.) Moench) à Aplicação de Regulador de Crescimento e Bioestimulante. **JNT Facit Business and Technology Journal**. Qualis A2. ISSN: 2526-4281, Mês de Setembro de 2026 - Ed. 77. VOL. 02. Págs. 356-373. Disponível: <http://revistas.faculdefacit.edu.br>. Acesso em: __/__/__.

O ethephon aplicado isoladamente reduz o comprimento do colmo de 36,90 cm no controle para 28,40 cm, correspondendo a redução aproximada de 23,0%. O comprimento radicular ($P = 0,0830$), o diâmetro do colmo ($P = 0,4477$) e o índice SPAD ($P = 0,2292$) não diferem significativamente entre os tratamentos. Conclui-se que, nas condições deste estudo, o ethephon atua principalmente sobre o crescimento longitudinal do colmo do híbrido K 200, sem evidência estatística de efeito sobre as demais características avaliadas.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor*. Ethephon. Bioestimulante. Comprimento radicular. Arquitetura vegetal. Semeadura a lanço.

ABSTRACT

Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) is an agriculturally important crop because of its hardiness, drought tolerance, and adaptation to restrictive soil and climatic conditions. This study evaluates the effects of the plant growth regulator ethephon, applied alone or in combination with the biostimulant Azos, on growth and architectural traits of K 200 hybrid sorghum plants grown under broadcast seeding. The experiment follows a completely randomized design with four treatments: T0 – control; T1 – Azos; T2 – ethephon; and T3 – Azos + ethephon, with ten replicates, totaling 40 experimental units. Stem length, root length, stem diameter, and relative chlorophyll content determined by the SPAD index are evaluated. Data are subjected to analysis of variance and, when the F test is significant, means are compared by Tukey's test at the 5% probability level. Treatments significantly affect only stem length ($P = 0.0246$). Ethephon applied alone reduces stem length from 36.90 cm in the control to 28.40 cm, corresponding to an approximate reduction of 23.0%. Root length ($P = 0.0830$), stem diameter ($P = 0.4477$), and SPAD index ($P = 0.2292$) do not differ significantly among treatments. Under the conditions of this study, ethephon acts mainly on longitudinal stem growth of the K 200 hybrid, with no statistical evidence of effects on the other evaluated traits.

Keywords: *Sorghum bicolor*. Ethephon. Biostimulant. root length. Plant architecture. Broadcast seeding.

INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) apresenta expressiva importância agrícola em razão de sua ampla adaptação edafoclimática e das diferentes

possibilidades de utilização, incluindo a produção de grãos, forragem, silagem e biomassa. Por apresentar metabolismo fotossintético C4, a espécie possui elevada eficiência no uso da radiação e da água, além de capacidade de manter o crescimento sob condições de temperaturas elevadas e disponibilidade hídrica limitada. Essas características conferem à cultura importância estratégica para sistemas agrícolas estabelecidos em regiões sujeitas à ocorrência de déficit hídrico e à irregularidade na distribuição das precipitações (Taiz *et al.*, 2017).

No Brasil, o sorgo apresenta particular relevância em regiões nas quais as condições climáticas podem restringir o desempenho de culturas mais sensíveis à limitação hídrica, constituindo uma alternativa importante para a diversificação dos sistemas produtivos (Tari *et al.*, 2013). Entretanto, a rusticidade da espécie não elimina a necessidade de práticas adequadas de manejo, uma vez que o desempenho agrônomo também está relacionado ao equilíbrio entre crescimento vegetativo, desenvolvimento do sistema radicular e arquitetura da parte aérea.

O alongamento excessivo do colmo pode aumentar a predisposição das plantas ao acamamento, enquanto limitações no crescimento radicular podem reduzir a capacidade de exploração do solo e de absorção de água e nutrientes. Dessa forma, características morfológicas e fisiológicas relacionadas à arquitetura vegetal apresentam importância para o estabelecimento e o desempenho da cultura.

O crescimento e o desenvolvimento das plantas são regulados por uma complexa interação entre fatores ambientais e mecanismos fisiológicos mediados por hormônios vegetais. Nesse contexto, a utilização de reguladores de crescimento constitui uma alternativa para modificar determinados processos fisiológicos e, conseqüentemente, características morfológicas das plantas. Entre esses compostos, o ethephon apresenta interesse agrônomo por liberar etileno após sua absorção e decomposição nos tecidos vegetais. O etileno participa da regulação de diferentes processos fisiológicos e pode interferir no alongamento celular e no crescimento dos órgãos vegetais, promovendo alterações no porte e na arquitetura das plantas (Davies, 2010).

Os bioestimulantes, por sua vez, vêm sendo empregados como ferramentas complementares de manejo por sua capacidade de influenciar processos fisiológicos e metabólicos relacionados ao crescimento e às respostas das plantas às condições ambientais. Dependendo de sua composição e mecanismo de ação, esses produtos podem favorecer características associadas ao desenvolvimento do sistema radicular, à aquisição de nutrientes e ao metabolismo vegetal (Calvo *et al.*, 2014).

Nesse sentido, a utilização conjunta de reguladores de crescimento e bioestimulantes apresenta interesse agrônomo, uma vez que esses produtos podem atuar sobre diferentes componentes do crescimento vegetal, possibilitando respostas complementares na parte aérea e no sistema radicular.

A magnitude dessas respostas também pode ser influenciada pelas condições estabelecidas pelo sistema de cultivo. Na semeadura a lanço, a distribuição espacial das sementes pode apresentar maior variabilidade em comparação à semeadura em linhas, ocasionando diferenças na densidade e no espaçamento entre plantas. Essa heterogeneidade espacial pode modificar as relações de competição intraespecífica por radiação solar, água e nutrientes e, conseqüentemente, influenciar características relacionadas ao crescimento e à arquitetura vegetal. Nesse contexto, torna-se relevante compreender como estratégias de manejo fisiológico interferem no desenvolvimento do sorgo quando cultivado sob esse sistema de implantação.

Embora reguladores de crescimento e bioestimulantes apresentem potencial para modificar características morfofisiológicas das plantas, ainda são necessárias informações sobre as respostas decorrentes de sua utilização isolada ou combinada em sorgo, particularmente em condições de semeadura a lanço. A avaliação dessas respostas pode ampliar a compreensão sobre os efeitos dessas tecnologias no equilíbrio entre o crescimento da parte aérea e o desenvolvimento do sistema radicular.

Diante desse contexto, formulou-se a seguinte questão de pesquisa: a aplicação isolada ou combinada de ethephon e do bioestimulante Azos modifica o crescimento e a arquitetura de plantas de sorgo cultivadas em sistema de semeadura a lanço? Objetivou-se avaliar os efeitos do regulador de crescimento ethephon, aplicado isoladamente ou em associação ao bioestimulante Azos, sobre o crescimento e a arquitetura de plantas do híbrido de sorgo K 200 cultivado em sistema de semeadura a lanço.

REFERENCIAL TEÓRICO

Características Agrônomicas e Importância do Sorgo

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é uma gramínea de metabolismo fotossintético C4 amplamente cultivada em regiões tropicais, subtropicais e semiáridas. A espécie apresenta elevada capacidade de adaptação a ambientes caracterizados por altas temperaturas e disponibilidade hídrica limitada, condição relacionada a mecanismos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos que favorecem

sua sobrevivência e manutenção do crescimento sob condições de estresse. Essas características conferem ao sorgo importância estratégica para sistemas agrícolas sujeitos à irregularidade das precipitações e à ocorrência de períodos de déficit hídrico (Tari *et al.*, 2013).

A tolerância do sorgo à restrição hídrica também está associada às características de seu sistema radicular. A arquitetura das raízes influencia diretamente a capacidade de exploração do perfil do solo, a aquisição de água e nutrientes e a resposta da planta às condições ambientais. Sistemas radiculares mais profundos e com distribuição espacial adequada podem favorecer o acesso à água armazenada em camadas subsuperficiais, constituindo característica relevante para a adaptação da espécie ao déficit hídrico Hostetler *et al.* (2024).

Além da adaptação ambiental, o sorgo apresenta elevada versatilidade de utilização, podendo ser destinado à produção de grãos, forragem, silagem, biomassa e matérias-primas para diferentes finalidades agroindustriais. Entretanto, a expressão do potencial de cada genótipo depende da interação entre as características genéticas da planta, as condições ambientais e as práticas de manejo. Entre os componentes relevantes desse desempenho estão o crescimento da parte aérea, o desenvolvimento radicular e as características estruturais do colmo.

Nesse contexto, características como comprimento e diâmetro do colmo, crescimento do sistema radicular e condição fisiológica das folhas constituem indicadores importantes para avaliar alterações promovidas pelo manejo. A análise integrada dessas variáveis possibilita compreender de que maneira intervenções fisiológicas podem modificar o padrão de crescimento e a arquitetura das plantas de sorgo.

FISIOLOGIA DO CRESCIMENTO E ARQUITETURA VEGETAL

O crescimento vegetal resulta da integração de processos de divisão, expansão e diferenciação celular controlados por mecanismos genéticos, ambientais e hormonais. Auxinas, giberelinas, citocininas, ácido abscísico e etileno participam desse sistema regulatório, exercendo funções específicas ou interdependentes na formação dos diferentes órgãos vegetais e na resposta das plantas às condições ambientais.

A arquitetura vegetal resulta da organização espacial e temporal dos órgãos da planta e envolve características relacionadas ao porte, comprimento e diâmetro dos colmos, disposição da parte aérea e configuração do sistema radicular. Essas características exercem influência sobre a interceptação da radiação solar, a

sustentação mecânica, a exploração do solo e a aquisição de água e nutrientes. No sorgo, diferenças morfológicas no colmo apresentam relação com a resistência ao acamamento, sendo a altura da planta e características estruturais do caule componentes relevantes para a estabilidade das plantas (Esechie, 1983).

O sistema radicular apresenta importância adicional por exercer funções relacionadas à ancoragem da planta e à absorção de água e nutrientes. Estudos recentes demonstram que a arquitetura radicular do sorgo possui elevado grau de plasticidade, sendo influenciada pelas condições ambientais e apresentando papel importante na adaptação a estresses hídricos e nutricionais Hostetler *et al.* (2024).

A condição fisiológica da parte aérea também pode ser acompanhada por indicadores relacionados à pigmentação foliar. O teor relativo de clorofila, frequentemente estimado por meio do índice SPAD, constitui uma medida indireta e não destrutiva utilizada na avaliação do estado fisiológico das folhas. Dessa forma, a associação entre variáveis morfológicas, como comprimento do colmo, diâmetro e desenvolvimento radicular, e indicadores fisiológicos permite caracterizar de maneira mais ampla a resposta das plantas aos tratamentos empregados.

REGULADOR DE CRESCIMENTO ETHEPHON: MECANISMOS E APLICAÇÕES

O ethephon, ou ácido 2-cloroetilfosfônico, é um regulador de crescimento utilizado em diferentes espécies cultivadas devido à sua capacidade de liberar etileno após ser absorvido pelos tecidos vegetais. O etileno participa da regulação de diversos processos relacionados ao crescimento e ao desenvolvimento, podendo interferir na expansão e no alongamento celular e, conseqüentemente, modificar características morfológicas da parte aérea.

Os efeitos do ethephon sobre a arquitetura vegetal são dependentes da espécie, genótipo, dose utilizada, estágio de desenvolvimento e condições ambientais no momento da aplicação. Dessa forma, a resposta ao produto deve ser interpretada considerando as características específicas de cada sistema de cultivo, uma vez que alterações na concentração ou na época de aplicação podem resultar em respostas morfológicas distintas.

Em sorgo, Han *et al.* (2011) avaliaram diferentes reguladores de crescimento e verificaram que o ethephon apresentou efeito sobre o comprimento do colmo, promovendo redução do crescimento longitudinal das plantas. Os autores também observaram diminuição do acamamento com o aumento das doses de ethephon, demonstrando que alterações induzidas no crescimento do colmo podem modificar características estruturais importantes da cultura.

Resultados posteriores também reforçam a possibilidade de utilização de reguladores de crescimento para modificar o porte de plantas de sorgo. Estudos conduzidos com sorgo forrageiro demonstraram que a resposta aos reguladores depende tanto do composto utilizado quanto das condições edafoclimáticas, evidenciando que seus efeitos não devem ser generalizados entre diferentes genótipos e ambientes (Flórez-Gomez *et al.*, 2024).

Diante disso, a avaliação do ethephon no híbrido K 200 apresenta interesse por possibilitar a determinação de seus efeitos sobre características diretamente relacionadas à arquitetura vegetal. A mensuração do comprimento e do diâmetro do colmo permite verificar alterações estruturais da parte aérea, enquanto a avaliação do sistema radicular e do índice SPAD possibilita investigar se essas respostas são acompanhadas por alterações em outros componentes do desenvolvimento das plantas.

BIOESTIMULANTES E SUA RELAÇÃO COM O CRESCIMENTO VEGETAL

Os bioestimulantes vegetais compreendem substâncias e/ou microrganismos aplicados às plantas com o objetivo de estimular processos relacionados à eficiência nutricional, tolerância a estresses abióticos e características de qualidade, independentemente de seu conteúdo direto de nutrientes. Dessa forma, diferenciam-se conceitualmente dos fertilizantes convencionais, cuja função principal está relacionada ao fornecimento de elementos minerais essenciais ao crescimento vegetal (Du Jardin, 2015).

Os efeitos associados aos bioestimulantes podem envolver diferentes mecanismos, dependendo da natureza e da composição de cada produto. Entre as respostas descritas estão alterações na eficiência de aquisição e utilização de nutrientes, crescimento radicular e capacidade das plantas de responder a condições ambientais adversas. Entretanto, a magnitude e a direção dessas respostas são influenciadas pela espécie vegetal, pelo genótipo, pelas condições edafoclimáticas, pelo estágio de aplicação e pelas características da formulação utilizada (Du Jardin, 2015).

O desenvolvimento radicular constitui uma variável particularmente relevante na avaliação de bioestimulantes, uma vez que modificações na extensão e distribuição das raízes podem alterar o volume de solo explorado pelas plantas. A arquitetura radicular exerce papel fundamental na aquisição de água e nutrientes e na resposta das culturas às limitações ambientais, razão pela qual alterações nessa

característica podem apresentar reflexos no desenvolvimento da parte aérea Hostetler *et al.* (2024).

No presente estudo, o bioestimulante Azos foi avaliado como uma das estratégias de manejo fisiológico do sorgo. Considerando que não devem ser atribuídos ao produto mecanismos específicos sem comprovação experimental ou literatura científica própria, sua ação é analisada a partir das respostas efetivamente mensuradas nas plantas. Assim, o comprimento radicular, o comprimento e o diâmetro do colmo e o índice SPAD constituem parâmetros para verificar experimentalmente a resposta do híbrido K 200 à aplicação do bioestimulante isoladamente ou em associação ao ethephon.

SEMEADURA A LANÇO E IMPLICAÇÕES DO ARRANJO ESPACIAL NO CRESCIMENTO DO SORGO

O estabelecimento adequado da população de plantas constitui um componente importante do manejo do sorgo, uma vez que a distribuição espacial interfere na competição intraespecífica pelos recursos disponíveis no ambiente. Alterações no espaçamento e na densidade modificam a quantidade de radiação interceptada pelas plantas, a disponibilidade individual de água e nutrientes e as relações de competição estabelecidas durante o desenvolvimento da cultura.

Resultados experimentais demonstram que o arranjo espacial das plantas pode modificar características morfológicas do sorgo. Silva *et al.* (2017), avaliando diferentes espaçamentos entre linhas e densidades de plantas em sorgo sacarino, verificaram efeitos da densidade sobre a altura das plantas e o diâmetro do colmo, evidenciando que mudanças na população vegetal podem alterar componentes importantes da arquitetura da cultura.

Da mesma forma, diferentes formas de distribuição das plantas podem modificar as características estruturais dos colmos. Teetor *et al.* (2017), ao compararem arranjos de cultivo de sorgo sacarino, verificaram diferenças no diâmetro dos colmos e na ocorrência de acamamento em função da distribuição espacial das plantas, indicando a importância do arranjo populacional para a expressão das características morfológicas da cultura.

Na semeadura a lanço, as sementes não são posicionadas segundo o padrão regular de linhas e espaçamentos individuais característico dos sistemas convencionais. Consequentemente, pode ocorrer maior heterogeneidade na distribuição espacial das plantas, criando microambientes com diferentes

intensidades de competição. Esse aspecto deve ser considerado na interpretação das características de crescimento observadas no sorgo cultivado sob esse sistema.

Nesse contexto, a avaliação de reguladores de crescimento e bioestimulantes em sorgo estabelecido por semeadura a lanço possibilita investigar como estratégias de manejo fisiológico interferem em características da arquitetura vegetal sob condições potencialmente mais heterogêneas de distribuição espacial. Entretanto, esses tratamentos não devem ser considerados, a priori, mecanismos capazes de corrigir as limitações próprias da semeadura a lanço, mas ferramentas cuja resposta necessita ser determinada experimentalmente.

INTERAÇÃO ENTRE REGULADOR DE CRESCIMENTO E BIOESTIMULANTE

A combinação de tecnologias com diferentes mecanismos de ação constitui uma abordagem relevante para investigar a possibilidade de respostas complementares no desenvolvimento das plantas. Reguladores de crescimento atuam diretamente sobre processos relacionados à sinalização hormonal, enquanto bioestimulantes podem influenciar mecanismos associados ao crescimento, à aquisição de nutrientes e à resposta das plantas às condições ambientais (Du Jardin, 2015).

Entretanto, a aplicação conjunta dessas tecnologias não implica necessariamente a ocorrência de efeito sinérgico. As respostas podem ser aditivas, complementares, independentes ou até antagônicas, dependendo dos compostos utilizados, das concentrações, do momento de aplicação, das características genéticas das plantas e das condições ambientais. Dessa forma, a existência e a magnitude de uma interação devem ser determinadas experimentalmente, evitando-se atribuir previamente efeitos positivos à combinação dos produtos.

No caso do ethephon, há evidências experimentais de alterações no comprimento do colmo de sorgo e em características relacionadas à arquitetura da planta (Han *et al.*, 2011). Para os bioestimulantes, a literatura demonstra potencial de atuação sobre diferentes processos do crescimento vegetal, mas ressalta que as respostas são condicionadas pela composição dos produtos e pelas condições nas quais são utilizados (Du Jardin, 2015).

Assim, a avaliação isolada e combinada de ethephon e Azos permite comparar diferentes estratégias de manejo fisiológico e determinar se a associação altera o padrão de resposta observado com cada produto individualmente. No presente estudo, essa interação é investigada por meio do comprimento do colmo, comprimento radicular, diâmetro do colmo e índice SPAD, possibilitando estabelecer

se a aplicação dos produtos modifica componentes morfológicos e fisiológicos relacionados ao crescimento e à arquitetura das plantas do híbrido de sorgo K 200 cultivado sob semeadura a lanço.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental do Centro Universitário Presidente Antônio Carlos – UNITPAC, localizado no município de Araguaína, Tocantins. A região apresenta clima tropical do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, caracterizado por estação chuvosa e estação seca bem definidas.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, de textura média. Antes da implantação do experimento, foi realizada análise química do solo, sendo a correção da acidez e a adubação efetuadas de acordo com as necessidades identificadas e as recomendações técnicas para a cultura do sorgo.

Foram utilizadas sementes do híbrido de sorgo K 200. O preparo do solo consistiu em aração seguida de gradagem, visando proporcionar condições adequadas para a implantação e o estabelecimento da cultura. A semeadura foi realizada a lanço, sendo a adubação de base estabelecida de acordo com os resultados da análise do solo e as recomendações técnicas para a cultura. Durante a condução do experimento, foram realizadas capinas manuais sempre que necessário, visando ao controle das plantas daninhas e à redução de sua interferência sobre o desenvolvimento da cultura.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), constituído por quatro tratamentos e dez repetições, totalizando 40 unidades experimentais.

Os tratamentos foram constituídos pelas seguintes estratégias de manejo:

T0 – Controle: sem aplicação de regulador de crescimento ou bioestimulante.

T1 – Azos: aplicação do bioestimulante Azos na concentração de 2,5 mL L⁻¹ de calda, correspondente à dose de 0,5 L ha⁻¹, nos estádios fenológicos V3 e V6.

T2 – Ethephon: aplicação de ethephon na dose de 250 g de ingrediente ativo por hectare (g i.a. ha⁻¹), nos estádios fenológicos V6 e V8.

T3 – Azos + ethephon: aplicação de Azos na concentração de 2,5 mL L⁻¹ de calda, correspondente à dose de 0,5 L ha⁻¹, nos estádios V3 e V6, associada à aplicação de ethephon na dose de 250 g i.a. ha⁻¹, nos estádios V6 e V8.

As aplicações foram realizadas com pulverizador costal manual, utilizando-se, nos tratamentos que receberam o bioestimulante, a proporção de 5 mL de Azos para

2 L de água. O equipamento foi calibrado para proporcionar volume de calda equivalente a 200 L ha⁻¹. As pulverizações foram realizadas no período da manhã, evitando-se condições de vento forte ou previsão imediata de precipitação, com o objetivo de reduzir possíveis perdas por deriva ou lavagem dos produtos aplicados.

Foram avaliados o comprimento do colmo, o comprimento radicular, o diâmetro do colmo e o teor relativo de clorofila das plantas.

O comprimento do colmo foi determinado em centímetros (cm), considerando-se a distância entre a base da planta, junto à superfície do solo, e a inserção da última folha completamente expandida. As medições foram realizadas utilizando régua graduada ou fita métrica.

Para determinação do comprimento radicular, as plantas foram cuidadosamente retiradas do solo por meio de escavação, buscando-se preservar ao máximo a integridade do sistema radicular. Após a retirada do solo aderido às raízes, determinou-se o comprimento máximo da raiz, considerando-se a distância entre o colo da planta e a extremidade da raiz de maior comprimento. Os resultados foram expressos em centímetros (cm).

O diâmetro do colmo foi determinado com auxílio de paquímetro digital, efetuando-se a leitura aproximadamente 10 cm acima da superfície do solo. Os resultados foram expressos em centímetros (cm).

O teor relativo de clorofila foi determinado por meio de clorofilômetro portátil do tipo SPAD. Foram realizadas três leituras por planta em folhas maduras, completamente expandidas e fisiologicamente ativas, evitando-se a nervura central. Para cada unidade experimental, foi utilizada a média das três leituras, sendo os resultados expressos em unidades SPAD.

Os dados referentes ao comprimento do colmo, comprimento radicular, diâmetro do colmo e índice SPAD foram submetidos individualmente à análise estatística.

Inicialmente, foram verificados os pressupostos necessários à realização da análise de variância. A normalidade dos resíduos foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk, ao nível de 5% de significância, considerando-se atendido o pressuposto de normalidade quando $p > 0,05$. A homogeneidade das variâncias foi avaliada pelo teste de Levene, também ao nível de 5% de significância.

Atendidos os pressupostos da análise, os dados de cada variável foram submetidos à análise de variância (ANOVA), considerando-se o modelo estatístico $Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$, em que Y_{ij} corresponde ao valor observado na j -ésima repetição

submetida ao i -ésimo tratamento; μ é a média geral; T_i é o efeito do i -ésimo tratamento; e ε_{ij} é o erro experimental associado à observação Y_{ij} .

Quando constatado efeito significativo dos tratamentos pelo teste F da análise de variância ($p \leq 0,05$), as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SISVAR, adotando-se nível de significância de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância evidenciou efeito significativo dos tratamentos apenas para o comprimento do colmo ($P = 0,0246$). Para o comprimento radicular ($P = 0,0830$), o diâmetro do colmo ($P = 0,4477$) e o índice SPAD ($P = 0,2292$), não foram detectadas diferenças significativas entre os tratamentos ao nível de 5% de probabilidade. Assim, a interpretação dos resultados foi realizada considerando a significância estatística e, para as variáveis não significativas, as diferenças entre médias foram tratadas apenas como variações numéricas.

Tabela 1: Comprimento do colmo de plantas de sorgo submetidas aos diferentes tratamentos.

Tratamento	GL	Comprimento do colmo (cm)	P
T0 – Controle	3	36,90 a	0,0246
T1 – Azos		34,70 ab	
T2 – Ethephon		28,40 b	
T3 – Azos +		30,60 ab	
Média geral		32,65	
CV (%)		19,89	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$) de probabilidade. GL e P referem-se ao efeito de tratamentos na análise de variância.
Fonte: Dados da pesquisa, 2026.

O comprimento do colmo foi a única variável que apresentou resposta significativa aos tratamentos. O controle (T0) apresentou média de 36,90 cm, enquanto a aplicação isolada de ethephon (T2) resultou em 28,40 cm. Pelo teste de Tukey, esses tratamentos pertencem a grupos distintos, enquanto T1 (34,70 cm) e T3 (30,60 cm) apresentaram comportamento intermediário e não diferiram estatisticamente de T0 ou T2. Em termos numéricos, T2 apresentou redução de aproximadamente 23,0% no comprimento do colmo em relação ao controle.

Esse comportamento é coerente com resultados obtidos por Han et al. (2011) em sorgo sacarino. Os autores avaliaram ethephon nas doses de 90, 180 e 360 g ha⁻¹, além de outros reguladores de crescimento, e verificaram efeito de redução do

comprimento do colmo e de entrenós, associado a modificações da arquitetura e do acamamento. O resultado do presente estudo, portanto, reforça a capacidade do ethephon de restringir o crescimento longitudinal do sorgo, embora diferenças de genótipo, dose, estágio de aplicação e ambiente impeçam a transposição direta da magnitude das respostas entre experimentos.

Almodares *et al.* (2011) também investigaram diferentes concentrações e épocas de aplicação de ethephon em dois cultivares de sorgo sacarino e incluíram altura e diâmetro do colmo entre as características avaliadas. Os autores destacaram a dependência das respostas em relação à época de aplicação e ao material genético. No presente estudo, o fato de T3 ter apresentado valor intermediário indica que não há evidência estatística de potencialização do efeito do ethephon pela associação com Azos. Assim, a conclusão sustentada pelos dados é que o efeito mais claro sobre a arquitetura longitudinal ocorreu com o ethephon aplicado isoladamente.

Tabela 2: Comprimento radicular de plantas de sorgo submetidas aos diferentes tratamentos.

Tratamento	GL	Comprimento radicular (cm)	P
T0 – Controle	3	17,20 a	0,0830
T1 – Azos		19,10 a	
T2 – Ethephon		14,15 a	
T3 – Azos +		16,45 a	
Média geral		16,73	
CV (%)		24,94	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$) de probabilidade. GL e P referem-se ao efeito de tratamentos na análise de variância.

Fonte: Dados da pesquisa, 2026.

Não houve efeito significativo dos tratamentos sobre o comprimento radicular. Embora T1 tenha apresentado a maior média numérica (19,10 cm) e T2 a menor (14,15 cm), todas as médias permaneceram no mesmo grupo pelo teste de Tukey. Dessa forma, os resultados não permitem afirmar que o Azos estimulou o alongamento das raízes nem que o ethephon o reduziu. O coeficiente de variação de 24,94% também evidencia variabilidade considerável para essa característica.

A ausência de diferença para comprimento radicular não exclui a possibilidade de respostas do sistema radicular em características que não foram mensuradas. Yang *et al.* (2004), por exemplo, demonstraram em plântulas de sorgo que o ethephon, como agente liberador de etileno, pode interferir no desenvolvimento de pelos radiculares. Entretanto, aquele estudo avaliou formação e alongamento de pelos radiculares em sistema controlado, enquanto o presente experimento mensurou o

comprimento máximo da raiz após escavação. Portanto, os estudos não avaliam exatamente a mesma característica, e a comparação deve ser interpretada como evidência de que respostas radiculares ao etileno podem ocorrer sem necessariamente se refletirem no comprimento máximo da raiz.

Quanto ao bioestimulante, a maior média numérica observada em T1 deve ser tratada com cautela. Du Jardin (2015) destacou que bioestimulantes constituem uma categoria ampla de substâncias e microrganismos cujos efeitos dependem da composição do produto, da espécie vegetal e das condições de cultivo. Assim, sem diferença estatística e sem evidência científica específica que caracterize o mecanismo do produto Azos utilizado, não é apropriado atribuir a ele um efeito promotor de crescimento radicular neste experimento.

Tabela 3: Diâmetro do colmo de plantas de sorgo submetidas aos diferentes tratamentos.

Tratamento	GL	Diâmetro do colmo (cm)	P
T0 – Controle	3	0,48 a	0,4477
T1 – Azos		0,54 a	
T2 – Ethephon		0,43 a	
T3 – Azos +		0,52 a	
Média geral		0,49	
CV (%)		32,76	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$) de probabilidade. GL e P referem-se ao efeito de tratamentos na análise de variância.

Fonte: Dados da pesquisa, 2026.

O diâmetro do colmo não foi significativamente alterado pelos tratamentos. As médias variaram de 0,43 cm em T2 a 0,54 cm em T1, mas todos os tratamentos permaneceram no mesmo grupo estatístico. O coeficiente de variação de 32,76% foi o maior entre as características avaliadas, indicando elevada dispersão experimental para essa variável e contribuindo para uma menor precisão na discriminação entre as médias.

A ausência de resposta significativa para o diâmetro, simultaneamente à redução do comprimento do colmo em T2, sugere que, nas condições deste experimento, o efeito detectável do ethephon concentrou-se no crescimento longitudinal, sem alteração estatisticamente demonstrável da espessura do colmo. Esse resultado não é incompatível com a literatura, pois a resposta ao ethephon varia com dose, genótipo e época de aplicação. Almodares *et al.* (2011) ao avaliarem concentrações entre 0 e 800 ppm em dois cultivares de sorgo sacarino, não observaram efeito significativo das concentrações sobre as características

mensuradas no conjunto do experimento, reforçando que respostas morfológicas ao ethephon não são uniformes.

Andrade *et al.* (2020), em experimento com sorgo sacarino submetido a doses de fósforo e ethephon, avaliaram altura de plantas e diâmetro do colmo, entre outras características. O trabalho mostrou que as respostas agronômicas ao regulador dependem do contexto experimental e que nem todas as variáveis de crescimento respondem de maneira simultânea. Portanto, no presente estudo, não se deve inferir aumento da robustez do colmo a partir da redução de seu comprimento, pois o diâmetro não diferiu estatisticamente e a resistência mecânica ou o acamamento não foram avaliados.

Tabela 4: Índice SPAD de plantas de sorgo submetidas aos diferentes tratamentos.

Tratamento	GL	Índice SPAD	P
T0 – Controle	3	28,05 a	0,2292
T1 – Azos		30,83 a	
T2 – Ethephon		29,79 a	
T3 – Azos +		26,74 a	
Média geral		28,85	
CV (%)		16,22	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$) de probabilidade. GL e P referem-se ao efeito de tratamentos na análise de variância.

Fonte: Dados da pesquisa, 2026.

O índice SPAD não apresentou diferença significativa entre os tratamentos. T1 apresentou a maior média numérica (30,83), seguido por T2 (29,79), T0 (28,05) e T3 (26,74), porém todas as médias pertencem ao mesmo grupo estatístico. Dessa forma, as aplicações de Azos, ethephon ou sua combinação não promoveram alteração estatisticamente detectável no teor relativo de clorofila nas condições avaliadas.

Esse resultado mostra que a redução do comprimento do colmo promovida pelo ethephon não foi acompanhada de alteração significativa do índice SPAD. Isso é relevante porque indica que a modificação morfológica observada em T2 ocorreu sem evidência, a partir dessa variável, de mudança concomitante no teor relativo de clorofila.

Saleh *et al.* (2026), em experimento de campo com três cultivares de sorgo e concentrações de ethephon de 0, 150 e 300 mg L⁻¹, relataram aumento do conteúdo de clorofila com a concentração de 300 mg L⁻¹, além de respostas distintas entre cultivares. A diferença em relação ao presente estudo reforça que a resposta fisiológica ao ethephon é dependente da concentração, do genótipo, do estágio de aplicação e das condições ambientais. Portanto, a ausência de efeito significativo

sobre SPAD no híbrido K 200 não contradiz necessariamente aqueles resultados, mas caracteriza a resposta específica observada nas condições experimentais aqui empregadas.

A avaliação conjunta das variáveis demonstra que a resposta estatisticamente comprovada aos tratamentos se concentrou no comprimento do colmo. A aplicação isolada de ethephon reduziu significativamente essa característica em comparação ao controle, enquanto comprimento radicular, diâmetro do colmo e índice SPAD não apresentaram diferenças significativas. Dessa forma, os resultados sustentam que o ethephon modificou a arquitetura longitudinal das plantas de sorgo, mas não fornecem evidência estatística de alteração das demais características avaliadas.

Da mesma forma, os dados não demonstram efeito significativo do Azos sobre comprimento radicular, diâmetro do colmo ou índice SPAD, nem permitem caracterizar sinergismo entre Azos e ethephon. A aplicação combinada apresentou resposta intermediária para comprimento do colmo e ausência de diferenças para as demais variáveis. Essa interpretação preserva a distinção entre diferenças numéricas e diferenças estatisticamente comprovadas.

CONCLUSÕES

A aplicação de ethephon reduz o comprimento do colmo das plantas de sorgo, evidenciando seu efeito sobre a arquitetura vegetal. O bioestimulante Azos, aplicado isoladamente ou associado ao ethephon, não altera o comprimento radicular, o diâmetro do colmo e o índice SPAD. Assim, nas condições deste estudo, o ethephon atua principalmente sobre o crescimento longitudinal do colmo do híbrido K 200.

REFERÊNCIAS

- ALMODARES, A.; TAHERI, R.; ERAGHIZADEH, F. The effects of ethephon on biomass and carbohydrate content in two sweet sorghum cultivars. **International Journal of Plant Production**, v. 5, n. 3, p. 221–226, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228818240_The_effects_of_ethephon_on_biomass_and_carbohydrate_content_in_two_sweet_sorghum_cultivars?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 09 de setembro de 2026.
- ANDRADE, M. G. O.; VIANA, R. S.; TRINDADE, V. D. R.; SÁ, M. E.; LIMA, S. F.; TROLEIS, M. J. B. Saccharin sorghum submitted to application of phosphorus and ethephon. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. 1–19, e689974677, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.4677>. Acesso em 09 de setembro de 2026.
- CALVO, P.; NELSON, L.; KLOEPPER, J. W. Agricultural uses of plant biostimulants. **Plant and Soil**, v. 383, p. 3–41, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>. Acesso em 10 de julho de 2026.

DAVIES, P. J. (ed.). **Plant hormones: biosynthesis, signal transduction, action!** 3. ed. Dordrecht: Springer, 2010.

DU JARDIN, P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 3–14, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>. Acesso em 2 de setembro 2026.

ESECHIE, H. A. Relationship between lodging, certain morphological characters and yield of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). **The Journal of Agricultural Science**, v. 101, n. 3, p. 669–673, 1983. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0021859600038697>. Acesso em 03 de setembro de 2026.

FLÓREZ-GÓMEZ, D. L.; OSORIO-GUERRERO, K. V.; RODRÍGUEZ-YZQUIERDO, G. A.; JARAMILLO-BONILLA, S.; ORTEGÓN-HERRERA, L. E.; GÓMEZ-DELGADO, E.; BROCHERO-ALDANA, G. A. Effect of growth retardants on reducing lodging in sweet forage sorghum. **Agronomía Costarricense**, v. 48, n. 1, p. 67–78, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15517/rac.v48i1.59131>. Acesso em 09 de setembro de 2026.

HAN, L. P.; WANG, X.; GUO, X.; RAO, M. S.; STEINBERGER, Y.; CHENG, X.; XIE, G. H. Effects of plant growth regulators on growth, yield and lodging of sweet sorghum. **Research on Crops**, v. 12, n. 2, p. 372–382, 2011. Disponível em: <https://hero.epa.gov/reference/3736554/>. Acesso em 08 de setembro de 2026.

HOSTETLER, A. N.; TINOCO, S. M. S.; SPARKS, E. E. Root responses to abiotic stress: a comparative look at root system architecture in maize and sorghum. **Journal of Experimental Botany**, v. 75, n. 2, p. 553–562, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jxb/erad390>. Acesso em 25 de agosto de 2026.

SALEH, F. F.; BADAY, S. J. S.; ABDULHAMED, Z. A. Impact of ethephon on physiological attributes chlorophyll content and yield of different sorghum cultivars. **Research on Crops**, v. 27, n. 3, 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2026.ROC-1356>. Acesso em 08 de setembro de 2026.

SILVA, J. M. F.; DUTRA, A. S.; CAMARA, F. T.; PINTO, A. A.; SILVA, F. E. Row spacing, plant density, sowing and harvest times for sweet sorghum. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, n. 4, p. 408–415, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-40632017v4748585>. Acesso em 03 de setembro de 2026.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TARI, I.; LASKAY, G.; TAKÁCS, Z.; POÓR, P. Response of sorghum to abiotic stresses: a review. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 199, n. 4, p. 264–274, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jac.12017>. Acesso em 25 de agosto de 2026.

TEETOR, V. H.; SCHMALZEL, C.; RAY, D. T. Growing sweet sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) in clumps potentially reduces lodging in the arid-southwestern United States. **Industrial Crops and Products**, v. 107, p. 458–462, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.05.064>. Acesso em: 11 de julho de 2026.

YANG, X.; OWENS, T. G.; SCHEFFLER, B. E.; WESTON, L. A. Manipulation of root hair development and sorgoleone production in sorghum seedlings. **Journal of Chemical Ecology**, v. 30, n. 1, p. 199–213, 2004. DOI: 10.1023/B:JOEC.0000013191.35181.03.