

Campus
Sudeste
UnU - Ipameri



Universidade
Estadual de Goiás



ESTADO
DE GOIÁS



Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal

DESEMPENHO AGRONÔMICO DO SORGO GRANÍFERO SUBMETIDO AO REGULADOR VEGETAL BRASSINOSTEROIDE NA SAFRINHA

JAIME SANTOS DO REGO JUNIOR

M E S T R A D O

**Ipameri-GO
2021**

JAIME SANTOS DO REGO JUNIOR

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DO SORGO GRANÍFERO
SUBMETIDO AO REGULADOR VEGETAL
BRASSINOSTEROIDE NA SAFRINHA**

Orientador: Prof. Dr. Fábio Santos Matos

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás – UEG, Unidade Universitária de Ipameri, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal para obtenção do título de MESTRE.

Ipameri-GO
2021

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "DESEMPENHO AGRONÔMICO DO SORGO GRANÍFERO SUBMETIDO AO REGULADOR VEGETAL BRASSINOSTEROIDE NA SAFRINHA"

AUTOR(A): Jaime Santos do Rego Júnior

ORIENTADOR(A): Fábio Santos Matos

Aprovado(a) como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE(A) EM PRODUÇÃO VEGETAL, pela comissão Examinadora:

Liana V. Rossato

Prof.^a Dr.^a Liana Veronica Rossato
Instituto Federal Farroupilha Campus Santa Rosa-RS

Patrícia Souza da Silveira

Prof.^a Dr.^a Patrícia Souza da Silveira

Fábio Santos Matos

Prof. Dr. Fábio Santos Matos (Orientador)
Universidade Estadual de Goiás/Unidade Universitária Ipameri-GO

Registro de Declaração

Número: 085

Livro: R-01 Folhas: 2

Data: 26/02/2021

Data da realização: 26 de fevereiro de 2021

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por me proporcionar esta oportunidade de crescimento.

À minha esposa, Ludmylla Costa Magalhães Rego, pelo apoio e incentivo em todos os momentos. Por acreditar em mim, e não medir esforço para a concretização dos meus sonhos. Amo você com amor eterno!

Aos meus pais, Jaime Santos do Rego e Sandra Teixeira de Souza Santos, que nunca mediram esforços para me ensinar o caminho do bem, e sempre me apoiaram em todas as etapas da minha vida. Sem vocês eu não chegaria até aqui.

À minha família, minhas irmãs Lilian Rejelane Teixeira e Caroline Teixeira, obrigado por acreditarem no meu sonho e sempre me motivar a seguir em frente. Eu sei que posso contar com vocês em todos os momentos, e sou muito grato por isso!

Ao meu orientador, Professor Fábio Santos Matos, pela oportunidade de realizar este trabalho. Obrigado pela confiança e por me atender com paciência todas as vezes que precisei. Agradeço por todos os ensinamentos compartilhados de forma admirável, e por me guiar nos primeiros passos da pós-graduação. Muito obrigado por tudo!

A minha coorientadora Larissa Pacheco Borges, por toda a ajuda durante a realização deste trabalho. Sua contribuição é essencial para a concretização de todas as pesquisas desenvolvidas neste Programa de pós-graduação. Muito obrigado!

Agradeço a Universidade Estadual de Goiás, Unidade Universitária de Ipameri, por ter me acolhido. A todo o seu corpo docente e técnicos administrativos, pela colaboração nesta jornada. Obrigado aos colegas do curso, que durante um curto período me ajudaram a evoluir. Muito obrigado a todos que de alguma forma me ajudaram para hoje estar aqui.

SUMÁRIO

RESUMO	v
ABSTRACT	vi
1. INTRODUÇÃO	7
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	9
2.1. Ecofisiologia e aspectos gerais do sorgo	9
2.2. O uso de reguladores vegetais na agricultura	10
2.3. Brassinosteróide no sorgo granífero	11
3. OBJETIVO.....	13
4. MATERIAL E MÉTODOS	14
4.1. Informações gerais	14
4.2. Desenho experimental	15
4.3. Avaliações realizadas	16
4.3.1. Variáveis morfológicas.....	16
4.3.2. Componentes de rendimento	16
4.4. Procedimentos estatísticos.....	17
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
6. CONCLUSÕES.....	25
7. REFERÊNCIAS.....	26

RESUMO

Em sistemas agrícolas, o uso de brassinosteróide apresenta-se como uma ferramenta de potencialização da produtividade das culturas agrícolas pela otimização dos caracteres agrônômicos. O sorgo por ser uma cultura importante para o sistema de produção, necessita de estratégias de manejo para incrementar o potencial produtivo e promover maior adaptabilidade climática e operacional da cultura no sistema de produção. Deste modo, o presente trabalho teve como objetivo identificar o efeito do regulador vegetal brassinosteróide no desempenho agrônômico de plantas de sorgo. A fim de testar a hipótese de que o brassinosteróide potencializa o desenvolvimento e as características agrônômicas das plantas de sorgo, realizou-se um trabalho na safrinha, no município de Ipameri, Goiás. O experimento foi conduzido no ano de 2019, utilizando um delineamento em blocos casualizados, com seis tratamentos (doses do brassinosteróide) e cinco repetições. Para avaliar o efeito da aplicação de brassinosteróide, foram analisadas variáveis morfológicas (altura de planta, diâmetro do caule, comprimento da raiz, número de folhas, razão de massa caulinar, razão de massa foliar, razão de massa radicular, biomassa seca total e teor relativo de água) e componentes de rendimento da cultura do sorgo (comprimento da panícula, massa de 100 grãos e produtividade de grãos). O brassinosteróide afetou negativamente o diâmetro do caule, a razão de massa foliar e o número de folhas. No entanto, foi observado incremento máximo para a produtividade de grãos, quando as plantas de sorgo foram submetidas à dose de 0,088 mL L⁻¹ do brassinosteróide. A aplicação exógena do brassinosteróide atenua os efeitos deletérios dos estresses abióticos, sem grandes impactos negativos sobre os componentes agrônômicos da planta de sorgo e, conseqüentemente, gera maiores produtividades.

Palavras-chave: Hormônio; *Sorgum bicolor*; Fisiologia vegetal.

ABSTRACT

In agricultural systems, the use of brassinosteroids is presented as a tool to enhance the productivity of agricultural crops by optimizing agronomic characters. Sorghum, being an important crop for the production system, requires management strategies to increase the productive potential and promote greater climatic and operational adaptability of the crop in the production system. Thus, the present work aimed to identify the effect of the brassinosteroid plant regulator on the agronomic performance of sorghum plants. To test the hypothesis that brassinosteroids enhance the development and agronomic characteristics of sorghum plants, a work was carried out in the off-season, in the municipality of Ipameri, Goiás. The experiment was conducted in 2019, using a delineation in randomized blocks, with six treatments (doses of brassinosteroids) and five repetitions. To evaluate the effect of the application of brassinosteroids, morphological variables were analyzed (plant height, stem diameter, root length, number of leaves, stem mass ratio, leaf mass ratio, root mass ratio, total dry biomass, and content relative water content) and yield components of sorghum culture (panicle length, mass of 100 grains and grain yield). The brassinosteroid negatively affected the stem diameter, the leaf mass ratio, and the number of leaves. However, a maximum increase in grain yield was observed when the sorghum plants were submitted to a dose of 0.088 mL L⁻¹ of the brassinosteroid. The exogenous application of brassinosteroids attenuates the deleterious effects of abiotic stresses, without major negative impacts on the agronomic components of the sorghum plant and, consequently, generates greater productivity.

Keywords: Hormone; *Sorghum bicolor*; Plant physiology.

1. INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), pertencente à família botânica Poaceae, tem como centro de origem a África e a Ásia (MAGALHÃES et al., 2012). Apesar de a planta ser considerada uma cultura muito antiga, foi somente a partir do fim do século passado que o plantio da espécie se destacou em muitas regiões agrícolas do mundo (LUNA et al., 2018). Atualmente, o sorgo é considerado o quinto cereal mais importante do mundo, seguido pelo trigo, milho, arroz e cevada (HERNÁNDEZ et al., 2020).

No cenário mundial de produção da cultura, o Brasil encontra-se na 9ª posição com 2,25 milhões de toneladas na safra de 2019/20. Os Estados Unidos lideram como maior produtor (8,67 milhões de toneladas), seguido pela Nigéria, Etiópia, Índia, México, Sudão, China e Argentina (USDA, 2020). Entre os estados considerados maiores produtores desse grão na safra de 2019/20, em ordem decrescente, está Goiás, Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso, Bahia, Tocantins, Distrito Federal, Piauí e Mato Grosso do Sul. O destaque se dá para o estado de Goiás, cuja participação na produção nacional é de 42,1%, e as estimativas são de que na safra seguinte (2020/21) o estado se mantenha na primeira colocação e a participação aumente para 49,7%, com produção de 1,29 milhão de toneladas (CONAB, 2020).

Nos países ocidentais, como os Estados Unidos, a Austrália e o Brasil, o sorgo granífero é cultivado essencialmente para a alimentação animal com a produção de ração (PEREIRA FILHO e RODRIGUES, 2015). A produção do sorgo no Brasil se intensificou desde a década de 1970, e atualmente a sua destinação é essencialmente para produção de grãos e forragem, cultivado principalmente na safrinha (JARDIM et al., 2020). Além do mais, são inúmeras as vantagens do cultivo de sorgo em segunda safra, pois, pode servir como cobertura verde para o solo, rotação de culturas, fornecimento de palhada para o sistema de plantio direto e por ser uma cultura totalmente mecanizada e não necessitando de investimento adicional de implementos para o produtor de soja (SILVA et al., 2018).

Embora o sorgo responda à interação dos diversos fatores edafoclimáticos, os de maior impacto na cultura são a temperatura do ar, a radiação solar, a umidade do ar e a disponibilidade de água no solo (LANDAU e SANS, 2008). Estes fatores, principalmente a disponibilidade de água no solo, possuem influência significativa na redução da produtividade, quando o sorgo é cultivado nessas condições de estresse hídrico (VASILAKOGLU et al., 2011). Vale ressaltar que o material genético é de suma importância na resposta da cultura sob estresse abiótico. Menezes et al. (2015), declaram que a exposição de linhagens híbridas de sorgo granífero sob estresse hídrico, geralmente reduz o rendimento de grãos, mas também, permite uma seleção

de híbridos tolerantes à seca, que sofrem menores reduções no rendimento em condições de estresse. A perda de produtividade nas lavouras, em função da exposição da cultura ao déficit hídrico, varia principalmente de acordo com o estágio fenológico da planta, a duração do estresse e o genótipo da planta, o que leva a considerar que com o sorgo não é diferente. A produtividade do sorgo está relacionada a vários fatores abrangentes, tais como: interceptação da radiação solar pelo dossel, eficiência metabólica, eficiência de translocação dos produtos fotossintéticos para os grãos e a capacidade de dreno (LANDAU e SANS, 2008).

O déficit hídrico é um fator limitante da produtividade agrícola, principalmente em culturas semeadas na segunda safra (safrinha), a exemplo do sorgo, cultivado em sucessão após a colheita da soja (MARTINS et al., 2016). Com isto, torna-se necessária a utilização de estratégias para melhorar a tolerância à seca nas culturas de safrinha (NIMIR et al., 2016). Uma alternativa, que tem sido adotada em diversos sistemas agrícolas, é o uso de reguladores vegetais (RV) exógenos, utilizados para potencializar o crescimento e o metabolismo das plantas sob condições de estresse (EGAMBERDIEVA et al., 2017). Alguns trabalhos demonstram papel positivo do uso de RV induzindo a planta responder sob o estresse, através de estímulos ao crescimento e desenvolvimento vegetal (KEBROM et al., 2017). Uma melhor compreensão das diferentes estratégias de tolerância para manter a produtividade das culturas e a inserção de RV no sistema produtivo, pode ser uma alternativa útil para a planta expressar seu máximo potencial genético (EGAMBERDIEVA et al., 2017).

Nesse sentido, o sorgo tem se mostrado uma cultura muito importante para o sistema de produção. A cultura tem sido tema de diversas linhas de pesquisas científicas que primam por gerar informações e criar estratégias de manejo, permitindo explorar seu potencial produtivo e promover maior adaptabilidade climática e operacional. Diante deste contexto, a investigação dos efeitos de brassinosteróide (BR) em sistemas agrícolas no Brasil, principalmente na região Centro-Oeste, torna-se relevante e partem do pressuposto que este RV potencializará o desenvolvimento e as características agrônômicas das plantas de sorgo, tornando uma alternativa viável para o produtor rural na busca por maiores produtividades.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Ecofisiologia e aspectos gerais do sorgo

O sorgo granífero é uma planta xerófila, que além de apresentar baixa exigência quanto ao teor de minerais no solo, exprime mecanismos eficientes de tolerância/resistência a fatores abióticos, como o estresse hídrico e salinidade (CYSNE e PITOMBEIRA, 2012). Com metabolismo C₄, o sorgo suporta altos níveis de radiação solar, respondendo com altas taxas fotossintéticas, minimizando a abertura dos estômatos e, conseqüentemente, reduz a perda de água (ASSEFA et al., 2010). A maior parte dos materiais genéticos de sorgo requerem uma temperatura superior a 21 °C para a planta crescer e desenvolver bem, o que permite seu cultivo na safrinha, criando assim, a possibilidade de mais um cultivo anual além da safra (ALMEIDA et al., 2019).

Quanto as características morfológicas da espécie, a planta possui sistema radicular extenso, fibroso e grande número de pelos absorventes, com massa radicular das raízes secundárias superior ao milho (MAGALHÃES et al., 2015). Um sistema radicular eficiente, como é o caso do sorgo, permite que as plantas respondam rapidamente ao ambiente em que elas vivem, tornando-as mais adaptáveis às mudanças ambientais, especialmente em relação ao estresse hídrico e a disponibilidade de nutrientes do solo (MAGALHÃES et al., 2013). Somase a isto, o sorgo possui resistência relativamente boa à dessecação, tendo mostrado capacidade de se recuperar após um período de seca (HAUSSMANN et al., 2012). Mesmo após um período prolongado de murchamento, em apenas cinco dias com condições ambientais propícias o sorgo pode recuperar a abertura dos estômatos, retornando às atividades fisiológicas normais (SANS et al., 2003).

Basicamente, existem cinco tipos comerciais de sorgo: o granífero, objeto deste estudo, com planta de porte baixo a médio (entre 1,2 e 1,5 m), cujo principal produto de exploração são os grãos que ficam na panícula; o forrageiro, planta de porte médio a alto (entre 2 e 3 m), sendo utilizado para corte e/ou pastejo; o sacarino, assemelha-se à cana-de-açúcar por apresentar colmos suculentos com açúcares diretamente fermentescíveis, produzindo assim o etanol de primeira geração; o vassoura, como o próprio nome já sugere, é propício para a fabricação de vassouras, devido às características da panícula laxa e ráquis curtas e longas; e o biomassa, sendo este uma alternativa para o fornecimento de matéria-prima para o mercado de bioenergia, tanto na forma de biocombustível líquido como na produção de etanol de segunda geração (PEREIRA FILHO e RODRIGUES, 2015; ALMEIDA et al., 2019).

Na primeira fase de crescimento do sorgo, que corresponde o período entre a germinação e o surgimento da panícula (EC1), algumas características são primordiais para o desenvolvimento da cultura em campo, sendo elas: a rapidez da germinação, emergência e estabelecimento da plântula. É válido destacar que, um estande de plantas bem distribuído, com rápida formação de folhas e sistema radicular, permitirá que a cultura enfrente possíveis pressões ambientais durante seu ciclo (MAGALHÃES et al., 2008). No geral, os híbridos de sorgo têm uma formação de folhas e sistema radicular mais rápido do que linhagem ou variedades. Ao comparar os materiais forrageiros, principalmente variedades, estas são mais lentas que os graníferos (MAGALHÃES et al., 2003).

Na fase seguinte à EC1, correspondente a iniciação da panícula até o florescimento (EC2), vários processos de crescimento são desencadeados. Na ocasião de um estresse abiótico, nesta fase fenológica do sorgo, as consequências poderão comprometer o rendimento de grãos da cultura (MAGALHÃES et al., 2008). Dentre as características de crescimento, que se desenvolve nesta fase, podemos citar: o desenvolvimento da área foliar, o desenvolvimento do sistema radicular, acumulação de matéria seca e o estabelecimento de um número potencial de sementes. Este último, provavelmente o mais crítico para a cultura, equivale a um importante componente de produção associado ao aumento de rendimento em sorgo (MAGALHÃES et al., 2003).

No terceiro estágio de crescimento (EC3), da floração à maturidade fisiológica, os fatores considerados mais importantes são aqueles relacionados ao enchimento do grão. Em síntese, nos três estádios de crescimento, a fotossíntese, o particionamento de fotoassimilados, a divisão e a expansão celular, devem estar ajustadas visando um bom rendimento da cultura. Visto que o rendimento final é função tanto da duração do período de enchimento de grãos como da taxa de acumulação de matéria seca diária (MAGALHÃES et al., 2008).

2.2. O uso de reguladores vegetais na agricultura

Os reguladores vegetais são amplamente usados na agricultura e interferem diretamente no estado hormonal da planta. Eles são representados por hormônios vegetais ou seus análogos sintéticos, por inibidores da biossíntese ou translocação de hormônios e por bloqueadores de receptores hormonais (RADEMACHER, 2015). Diferentemente dos hormônios, que são produzidos naturalmente pelas plantas, os reguladores vegetais são aplicados às plantas pela ação antrópica. A função dos reguladores vegetais equivale às ações desencadeadas pelos hormônios produzidos pelas plantas, que são afetar a floração, envelhecimento, crescimento da raiz, distorção e morte de órgãos vegetais, prevenção ou promoção do alongamento da haste, realce da cor de frutos, prevenção de folhagem e muitas outras condições (ZANDEN, 2012).

Desde meados da década de 1940, pesquisadores de todo o mundo se interessaram pelo uso de produtos químicos sintéticos para controlar o crescimento das plantas, quando a hidrazida maleica foi usada pela primeira vez como o primeiro produto comercial para esse fim. Posteriormente, com a introdução do cloreto de clorocolina (CCC), um produto amplamente utilizado nas décadas de 1960 e 1970, o uso de produtos químicos para controlar o crescimento das plantas tornou-se mais comum (MARCH et al., 2013).

As concentrações aplicadas dos reguladores vegetais geralmente são medidas em partes por milhão (ppm) e, em alguns casos, partes por bilhão (ppb). Essas substâncias, que regulam o crescimento, geralmente são aplicadas como spray na folhagem ou como uma poça líquida no solo ao redor da base da planta. Geralmente, seus efeitos são de curta duração e pode ser necessário reaplicá-los para obter o efeito desejado (ZANDEN, 2012).

Dentre os reguladores vegetais mais importantes para o crescimento das plantas, estão: o ácido abscísico, que desempenha papel importante durante vários estágios do ciclo de vida de uma planta, incluindo o desenvolvimento da semente e a dormência; as auxinas, relatado como um importante mediador em vários aspectos da planta, como o crescimento e desenvolvimento; o etileno, que está envolvido em muitos processos de desenvolvimento, como a abscisão de folhas, amadurecimento de frutos e senescência; a giberelina que estimula a divisão e o alongamento celular; a citocinina, que são encontradas em plantas e animais, estimula a divisão celular e frequentemente são incluídas nos meios estéreis usados para o cultivo de plantas a partir de cultura de tecidos; e por fim, os brassinosteroides (BR), objeto do presente estudo, que possuem função base na regulação da expansão e alongamento celular, fotomorfogênese, floração, fertilidade masculina, germinação de sementes, diferenciação vascular, arquitetura vegetal, formação de estômatos e senescência em plantas (ZANDEN, 2012; BÜCKER-NETO et al., 2017).

2.3. Brassinosteróide no sorgo granífero

Os BR são uma classe de hormônios esteróides polihidroxilados e regulam uma ampla gama de respostas aos estresses abióticos, que ocorrem ao longo do ciclo de vida das plantas (GRUSZKA, 2018). De acordo com Bücken-Neto et al., (2017), sessenta BR foram identificados e são classificados em três categorias, de acordo com o número de carbonos encontrados em sua estrutura, os quais são os BR bioativos amplamente utilizados em estudos com plantas: brassinolide (BL), 28-homobassinolide (28-HomoBL) e 24-epibassinolide (24-EpiBL).

Além de sua importância no crescimento e desenvolvimento geral da planta, os BR desempenham uma variedade de papéis fisiológicos na prevenção de estresse abiótico, no que

Ihe concerne, induz a tolerância ao estresse devido ao aumento da expressão de genes com funções antioxidantes (BÜCKER-NETO et al., 2017). Neste cenário, o uso de BR em sistemas agrícolas apresenta-se como uma ferramenta viável na potencialização da produtividade de culturas agrícolas, ressaltando ainda que, os BR são naturais, não tóxicos, não genotóxicos, biosseguros e ecológicos, e pode, portanto, ser utilizado na agricultura para melhorar as características agronômicas (FARIDUDDIN et al., 2014; COLL et al., 2015).

Relatos na bibliografia apontam efeitos positivos da utilização de BR em plantas de cevada e arroz, sob estresse de alta e baixa temperatura, respectivamente (JANECZKO et al., 2011; WANG et al., 2014). Pesquisa em arroz (*Oryza sativa* L.) demonstrou que a presença de brassinosteróide aumentou o peso e o rendimento de grãos até 27,1 e 16,6%, respectivamente, além do aceleramento da germinação, aumento das folhas de origem, rápido enchimento dos grãos e melhor desenvolvimento da arquitetura da planta (CHE et al., 2016). Outros estudos, também com arroz, fornecem uma visão de como os BR regulam várias características agronômicas importantes para determinar a produtividade da cultura, promovendo a expressão de genes metabólicos durante o desenvolvimento do pólen e da semente (ZHANG et al., 2014; ZHU et al., 2015).

Outras culturas de cereais também podem ser beneficiadas, em termos de produtividade, mediante o uso de BR (LIU et al., 2017). No milho, por exemplo, os autores Holá et al. (2010) avaliaram o efeito dos BR no desenvolvimento e rendimento da cultura cultivada em campo. Na ocasião, vários parâmetros de produção foram afetados pelo tratamento das plantas de milho com aplicação dos BR, mas esse efeito variou de acordo com o estágio de desenvolvimento durante o qual ocorreu a aplicação dos BR, o genótipo da planta, o tipo de BR e sua concentração. Segundo Borges (2018), na cultura do sorgo o BR aplicado via foliar proporcionou aumento da produtividade em 8 e 24% nas safrinhas de 2015 e 2016, respectivamente. Porém, são poucos os trabalhos que visam a utilização dos BR na produtividade de grãos de sorgo, sendo sempre pesquisas voltadas para aspectos bioquímicos e expressão gênica da espécie em situação de estresses abióticos.

3. OBJETIVO

O presente trabalho teve como objetivo identificar o efeito do regulador vegetal brassinosteróide no desempenho agrônômico de plantas de sorgo granífero (híbrido 1G100).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Informações gerais

O trabalho foi conduzido na safrinha de 2019 em plantio comercial de sorgo (1G100) semeado no dia 11 de abril, depois da colheita da soja, na Fazenda Olhos d'água, localizada no município de Ipameri, Goiás (Lat. 17° 67' 90'' S, Long. 48° 19' 59'' W, Alt. 805 m). Esta região possui clima Aw, de acordo com a classificação de Köppen, caracterizado por clima tropical úmido com verão chuvoso e inverno seco (ALVARES et al., 2013).

A figura 1 demonstra os dados disponibilizados pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) sobre a pluviosidade e temperaturas máxima e mínima no período de abril de 2019 até agosto de 2019 no município de Ipameri, período coincidente com o experimento em campo.

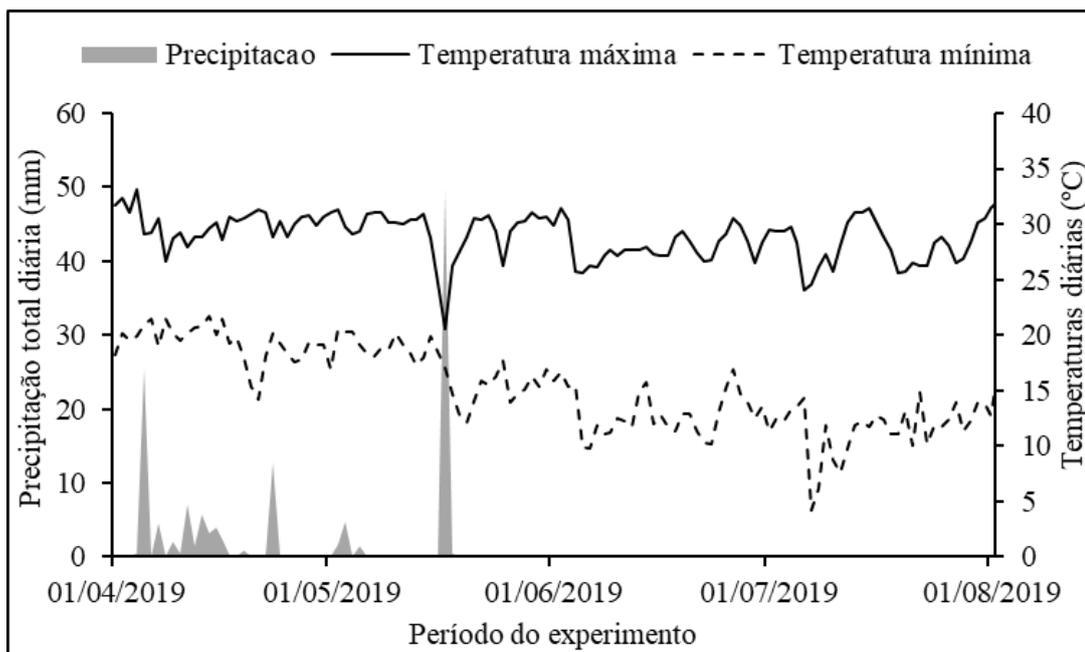


Figura 1. Dados climáticos diários referentes à precipitação total diária (mm), temperatura máxima diária (°C) e temperatura mínima diária (°C) para o período de condução do experimento. Ipameri, UEG, 2019. FONTE: INMET (2020).

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, com textura argilosa (290 g kg⁻¹ de argila), com três anos de cultivo, considerado solo de alta fertilidade, constatado pela análise química: pH em CaCl₂: 5,6; P (Mehlich-1): 6 mg dm⁻³; K (Mehlich-1): 95,3 mg dm⁻³; Ca²⁺: 4,3 cmolc dm⁻³; Mg²⁺: 2,2 cmolc dm⁻³; H+Al: 2,3 cmolc dm⁻³; Matéria Orgânica: 31g dm³; e V: 74,56%. Após a análise do solo, realizou-se a adubação de acordo com recomendações técnicas para a cultura (PROCHNOW et al., 2010).

O híbrido de sorgo cultivado no presente estudo foi o 1G100, muito utilizado na região de Ipameri na safrinha por possuir como características o porte baixo (1,15 m), colmo vigoroso e tolerante ao tombamento, sistema radicular extenso e profundo, tolerância ao alumínio tóxico, maior resistência a seca, panícula semiaberta, cor do grão castanho-escuro sem tanino e com ciclo superprecoce (CORTEVA, 2020).

4.2. Desenho experimental

O experimento foi conduzido no delineamento em blocos casualizados, com seis tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram constituídos por seis doses do RV brassinosteroide, sendo elas: 0,000; 0,025; 0,050; 0,075; 0,100 e 0,125 mg L⁻¹. O regulador vegetal foi aplicado nos estádios fenológicos 2 (planta com cinco folhas) e 5 (emborrachamento) para todos os tratamentos. As parcelas experimentais foram compostas de 36 linhas de 50 m de comprimento e plantas espaçadas em 0,5 m. A área útil foi obtida desconsiderando 1 m de cada extremidade.

O hormônio utilizado foi um análogo do brassinosteroide (C₂₈H₄₈O₆) (brassinolídeo) da marca comercial SIGMA[®]. Inicialmente pesou-se 1 mg de brassinolídeo, que foi dissolvida em 50 mL de álcool, em seguida, o volume foi completado para 1000 mL com água destilada. Posteriormente, foi feita a diluição em água para as doses de acordo com os tratamentos adotados (YUAN et al., 2010). As plantas que não receberam aplicações do regulador, foram pulverizadas apenas com água. Buscou-se o máximo de uniformidade durante a aplicação através de pulverizações na área foliar utilizando pulverizador de arrasto, com volume de calda de 100 L ha⁻¹.

Uma semana antes da implantação do experimento foi realizada a dessecação das plantas daninhas aplicando-se, mecanicamente, o equivalente a 1.240 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate e 0,5 L ha⁻¹ de 2,4-D em volume de calda de 100 L ha⁻¹. A adubação e o plantio foram realizados com semeadora de dezesseis linhas em que foram empregadas populações de 200.000 semente ha⁻¹ e adubação equivalente a 150 kg do formulado 10-20-15. Aos 30 dias após a emergência (DAE) no estágio fenológico 2 (planta com cinco folhas), foi aplicado 850 g i.a ha⁻¹ do herbicida atrazina (volume de calda de 100 L ha⁻¹) para o controle de plantas voluntárias de soja e plantas daninhas dicotiledôneas. Para controle de lagartas (*Spodoptera frugiperda*) foi feita somente uma aplicação do inseticida metomil (0,8 L ha⁻¹). Decorridos 30 DAE, foram aplicados, ao lado da linha de semeadura do sorgo, 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio na forma de ureia. No estágio fenológico 5 (emborrachamento) foi realizada a aplicação de fungicida Rivax (1 L ha⁻¹) para o controle de doenças fúngicas.

4.3. Avaliações realizadas

4.3.1. Variáveis morfológicas

As análises morfológicas foram realizadas no estágio 7 de desenvolvimento do sorgo (grão leitoso), sendo avaliadas dez plantas por parcela. Determinou-se a altura da planta (AP), a partir da mensuração da região de transição da raiz com o caule, na base da planta rente ao solo (coletor), até o ápice, com auxílio de régua graduada; o diâmetro do caule (DC), mensurado na altura do coletor com paquímetro digital; o comprimento da raiz (CR), conferindo toda a extensão do sistema radicular com auxílio de régua graduada; e o número de folhas (NF), obtido por contagem de todas as folhas viáveis presentes na planta.

As mesmas plantas amostradas, foram utilizadas para determinar a biomassa total, razão de massa radicular (RMR), razão de massa caulinar (RMC), razão de massa foliar (RMF). As folhas, raízes e caules foram destacados e colocados para secar em estufa a 72 °C por 72 h até atingir massa seca constante e, em seguida, pesados separadamente. Com os dados de massa seca calculou-se a biomassa total somando-se as massas de todas as partes da planta e razões de massa foliar, caulinar e radicular dividindo-se a massa do órgão específico pela biomassa total.

Para obtenção do teor relativo de água foram retirados dez discos foliares de 1,2 cm de diâmetro em folhas totalmente expandidas, pesados para registrar a massa fresca (MF) e colocados para saturar por 24 horas em placas de petri com água destilada quando foram novamente pesados e determinada a massa túrgida (MT), em seguida, colocados para secar à temperatura de 70 °C por 72 horas, sendo posteriormente obtida a massa seca (MS) e, em seguida, calculado o teor relativo de água seguindo a equação: $(MF - MS)/(MT - MS) \times 100$.

4.3.2. Componentes de rendimento

A colheita da parcela útil foi realizada de forma mecanizada com colhedora de grãos John Deere-S540, no dia 17 de agosto de 2019. Na ocasião, foram coletadas 10 panículas de forma aleatória em todas as parcelas para determinação do comprimento de panícula (CP), medindo-se toda a extensão das 10 panículas amostradas; massa de 100 grãos (M100G), com auxílio de balança analítica; e a produtividade de grãos (PROD), pela pesagem dos grãos colhidos com o uso da colhedora de grãos, de todas as plantas da área útil de cada parcela. Na determinação PROD, realizou-se correção da umidade para 13%.

4.4. Procedimentos estatísticos

Os dados foram submetidos a análise de variância, para verificar os efeitos das doses sobre as características avaliadas. Aplicou-se também a análise de regressão, testando-se os modelos linear e quadrático, e a análise de variáveis canônicas. As análises foram processadas utilizando o software R (R CORE TEAM, 2018) e RBio (BHERING, 2017). As plotagens dos gráficos foram realizadas com auxílio do software SigmaPlot 10.0 (SYSTAT SOFTWARE, 2006).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme os dados meteorológicos exibidos na figura 1, verifica-se que na safinha de 2019 houve irregularidades na precipitação durante o ciclo da cultura. A precipitação acumulada neste período foi de 128 mm, porém, o último registro de precipitação, foi no dia 18 de maio de 2019. A temperatura média diária variou de 29,19 e 15,28 °C.

As diferentes concentrações de BR interferiram significativamente no diâmetro do caule (Tabela 1), razão de massa caulinar, razão de massa foliar, razão de massa radicular, teor relativo de água (Tabela 2), comprimento de panícula, massa de 100 grãos e produtividade de grãos (Tabela 3) das plantas de sorgo. O coeficiente de variação (CV), para as variáveis mencionadas, variou entre 3,25 e 13,3%, apontando um conjunto de dados com adequada precisão experimental. As demais variáveis como altura de planta, comprimento da raiz, número de folhas e biomassa seca total, também apresentaram CV considerados baixos, no entanto, as variações nas concentrações de BR não promoveram alterações significativas nestas variáveis.

Dentre as variáveis com resultados significativos em relação às concentrações do BR, o diâmetro do caule, a razão de massa caulinar, razão de massa foliar, o teor relativo de água, a massa de 100 grãos e a produtividade de grãos, apresentaram reduções de 16%, 7%, 9%, 8%, 4% e 6%, quando comparado o tratamento controle com a maior concentração do BR (0,125 mL L⁻¹). Resultados inversos foram encontrados para a razão de massa radicular, biomassa seca total e comprimento de panícula, cujas características apresentaram um aumento de 43%, 18% e 7%, respectivamente, quando se comparou a testemunha com a maior concentração do BR.

Tabela 1. Resumo da análise de variância e médias para as variáveis altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), comprimento da raiz (CR) e número de folhas (NF) de plantas de sorgo submetidas a diferentes concentrações de brassinosteróide.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios			
		AP (cm)	DC (mm)	CR (cm)	NF (n°)
Regulador Vegetal	5	28,37 ^{ns}	17,53 ^{**}	10,71 ^{ns}	0,92 ^{ns}
Bloco	4	2,88 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,90 ^{ns}	0,23 ^{ns}
Resíduo	20	18,56	3,56	6,95	0,38
CV (%)		4,91	9,42	17,62	6,93
Tratamentos					
0,000		90,1 (100%)	22,6 (100%)	15,0 (100%)	9,3 (100%)
0,025		86,7 (96%)	21,7 (96%)	17,4 (116%)	9,2 (98%)
0,050		85,5 (94%)	20,4 (90%)	14,8 (98%)	9,3 (100%)
0,075		91,2 (101%)	18,5 (81%)	13,6 (90%)	8,5 (91%)
0,100		85,7 (95%)	17,8 (78%)	15,3 (102%)	8,4 (90%)
0,125		86,9 (96%)	19,0 (84%)	13,3 (88%)	8,5 (91%)

GL = Grau de liberdade. CV = coeficiente de variação. *significativo a 5% de probabilidade; **significativo a 1% de probabilidade; ns = não significativo pelo teste F.

Tabela 2. Análise de variância e médias para as variáveis razão da massa caulinar (RMC), razão da massa foliar (RMF), razão a massa radicular (RMR) e teor relativo de água (TRA) das plantas de sorgo submetidas a diferentes concentrações de brassinosteróide.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios			
		RMC	RMF	RMR	TRA (%)
Regulador vegetal	5	0,004 ^{**}	0,001 ^{**}	0,006 ^{**}	100,83 [*]
Bloco	4	0,0001 ^{ns}	0,00002 ^{ns}	0,00008 ^{ns}	70,4 ^{ns}
Resíduo	20	0,0003	0,0001	0,0002	0,28
CV (%)		3,25	6,01	6,77	9,06
Tratamento					
0,000		0,58 (100%)	0,24 (100%)	0,16 (100%)	73,7 (100%)
0,025		0,53 (91%)	0,23 (95%)	0,23 (143%)	67,8 (91%)
0,050		0,55 (94%)	0,21 (87%)	0,22 (137%)	61,5 (83%)
0,075		0,51 (87%)	0,20 (83%)	0,28 (175%)	63,1 (85%)
0,100		0,59 (101%)	0,20 (83%)	0,20 (125%)	63,6 (86%)
0,125		0,54 (93%)	0,22 (91%)	0,23 (143%)	68,0 (92%)

GL = Grau de liberdade. CV = coeficiente de variação. *significativo a 5% de probabilidade; **significativo a 1% de probabilidade; ns= não significativo pelo teste F.

Tabela 3. Análise de variância e médias para as variáveis biomassa seca total (BIO), comprimento de panícula (CP), massa de 100 grãos (M100G) e produtividade de grãos (PROD) das plantas de sorgo submetidas a diferentes concentrações de brassinosteróide.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios			
		BIO (g)	CP (cm)	M100G	PROD (kg ha ⁻¹)
Regulador vegetal	5	87 ^{ns}	3,59 [*]	0,049 ^{**}	3790459 ^{**}
Bloco	4	56 ^{ns}	3,82 ^{ns}	0,0048 ^{ns}	670611 ^{ns}
Resíduo	20	76	2,16	0,01	528144
CV (%)		13,11	5,31	10,83	13,3
Tratamento					
0,000		58,6 (100%)	26,0 (100%)	0,87 (100%)	4880 (100%)
0,025		69,8 (119%)	28,1 (108%)	0,92 (105%)	6553 (134%)
0,050		68,8 (117%)	29,7 (114%)	1,06 (121%)	6573 (135%)
0,075		67,7 (115%)	27,0 (103%)	0,85 (97%)	5180 (106%)
0,100		67,0 (114%)	27,3 (105%)	1,05 (120%)	4986 (102%)
0,125		69,4 (118%)	28,0 (107%)	0,84 (96%)	4613 (94%)

GL = Grau de liberdade. CV = coeficiente de variação. *significativo a 5% de probabilidade; **significativo a 1% de probabilidade; ns= não significativo pelo teste F.

A análise de regressão para as variáveis diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), razão de massa foliar (RMF) e razão de massa radicular (RMR) estão representadas na Figura 2. O melhor ajuste da equação foi a polinomial quadrática para DC, RMF e RMR. O número de folhas, principal órgão fotossintético, se ajustou linearmente em função das concentrações de BR (Figura 2B). A redução para o NF foi de 0,8 quando comparado a testemunha (dose 0) em relação à maior dose utilizada (125 mL L⁻¹). Este resultado indica uma redução na iniciação foliar de 9% para cada incremento unitário do BR (mL L⁻¹).

Houve resultado de ponto mínimo nas doses de 0,111 mL L⁻¹ e 0,079 mL L⁻¹ para o DC e a RMF, respectivamente (Figura 2A e 2C). A redução foi da ordem de 20% para DC e 17% para RMF, quando comparado o resultado obtido no ponto mínimo com a testemunha (0,111 mL L⁻¹). A razão de massa radicular apresentou um ponto de máximo efeito do BR, sendo este na concentração de 0,075 mL L⁻¹ do produto, com um aumento de 43% em relação à testemunha (Figura 2D).

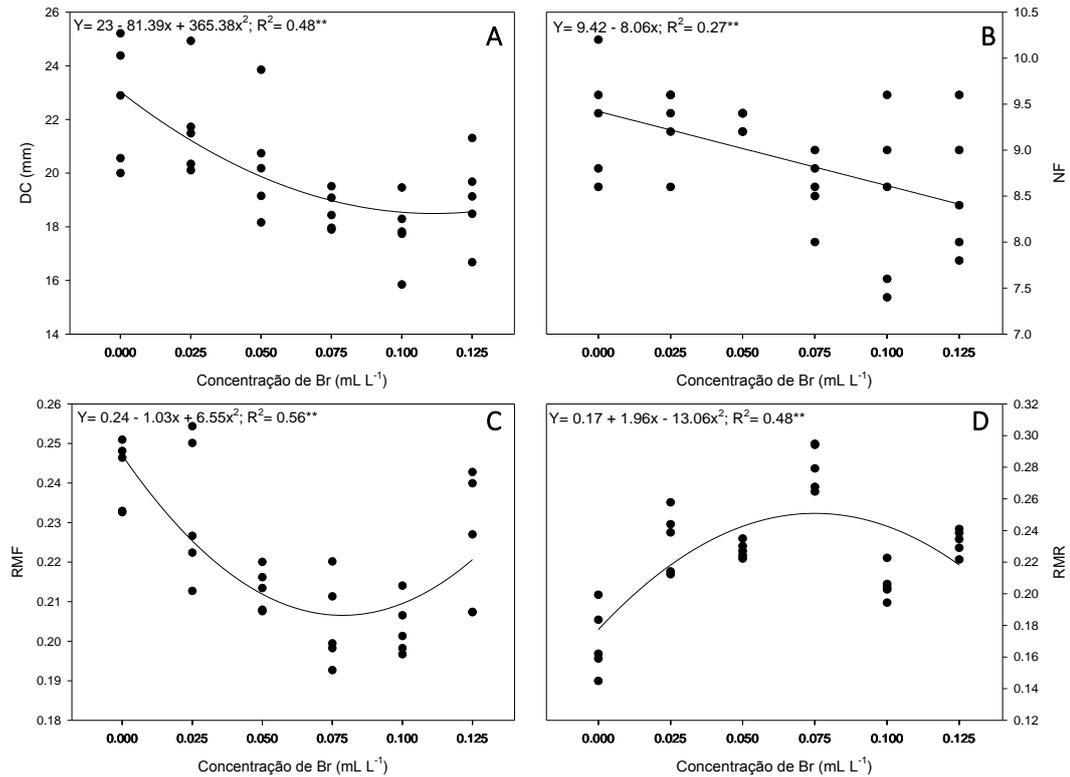


Figura 2. Gráficos de regressão para diâmetro do caule (A), número de folhas (B) razão de massa foliar (C) e razão de massa radicular (D), de plantas de sorgo submetidas a diferentes concentrações de brassinosteroide.

Em síntese, o BR afetou negativamente o diâmetro do caule, a razão de massa foliar e o número de folhas quando comparado com a testemunha. Um estudo realizado por Borges (2018), na cultura do sorgo granífero, não observou efeito significativo da aplicação de BR sobre as mesmas características mencionadas anteriormente. Outro estudo, realizado por Holá et al. (2010), relatam que os BR afetam significativamente (positiva ou negativamente, dependendo do genótipo e do estágio de desenvolvimento que foram aplicados) no desenvolvimento das plantas de milho, semanas após a aplicação, mas não a arquitetura morfológica final destas. Estes relatos demonstram uma divergência com os resultados obtidos no presente estudo, e isto pode estar correlacionado com diversos fatores, como o genótipo utilizado, a época de aplicação do BR e o tipo de BR aplicado.

Um fato importante a ser destacado foram os resultados para a RMF e RMR, que foram influenciados negativa e positivamente pela aplicação de BR, com uma dose de mínimo e máximo efeito, respectivamente. Nota-se que as plantas de sorgo direcionaram os assimilados produzidos pela fotossíntese, em maior quantidade para o sistema radicular, o qual se apresenta com uma estrutura robusta, profunda e ramificada (MAGALHÃES e DURÃES, 2003). Nas condições em que o experimento foi conduzido, apresentando um período longo de estiagem

da precipitação pluviométrica (Figura 1), este mecanismo de escape da espécie é uma importante ferramenta e confere maior eficiência à planta na extração de água do solo, soma-se a isto, a potencialização do sistema radicular da cultura em função da aplicação do BR.

Quanto as variáveis teor relativo de água (TRA), biomassa seca total (BIO), massa de 100 grãos (M100G) e produtividade de grãos (PROD), obtiveram o melhor ajuste da função a regressão quadrática (Figura 3). Dentre as variáveis supramencionadas, o TRA foi a única que apresentou um ponto de mínimo na dose de 0,073 mL L⁻¹ do BR, com uma redução de 17% em relação à testemunha (0,000 mL L⁻¹) (Figura 3A). Incrementos máximos foram observados para BIO (Figura 3B), M100G (Figura 3C) e PROD (Figura 3D), cujos maiores resultados foram obtidos nas doses de 0,088, 0,062 e 0,049 mL L⁻¹ do BR, respectivamente. O aumento correspondente em cada dose máxima obtida, em relação à testemunha, foi de 18% para BIO, 19% para M100G e 14% para PROD.

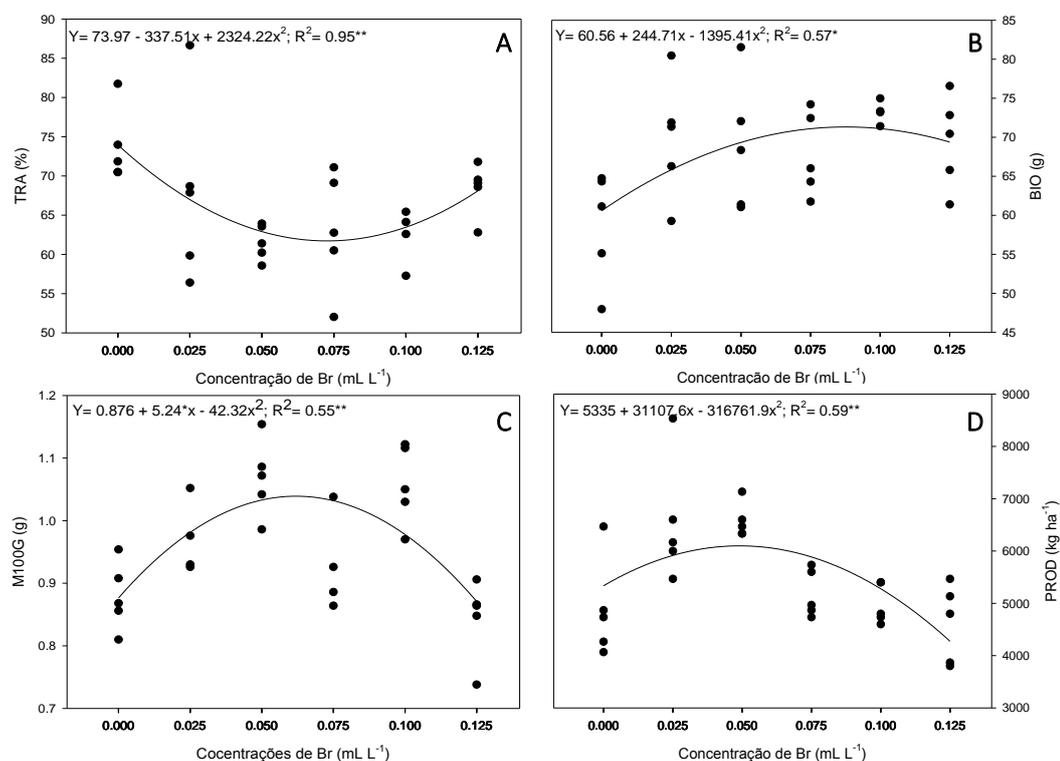


Figura 3. Gráficos de regressão para teor relativo de água (A), biomassa seca total (B), massa de 100 grãos (C) e produtividade de grãos (D), de plantas de sorgo submetidas a diferentes concentrações de brassinosteroide.

É possível pressupor que o BR confere resultados satisfatórios às plantas de sorgo, com acúmulo de biomassa seca total superior ao tratamento que não recebeu aplicação do produto, confirmando que este regulador vegetal está envolvido na promoção do crescimento e desenvolvimento da planta (BAJGUZ e HAYAT, 2009). Ademais, a matéria seca vegetal do

sorgo é proveniente da fotossíntese, que fornece cerca 90 a 95% da BIO para a cultura, assim como a energia metabólica requerida para o desenvolvimento da planta (MAGALHÃES e DURÃES, 2003). Portanto, mesmo com um número reduzido de folhas, o potencial fotossintético não deve ter sido reduzido, visto que o incremento na biomassa é notório.

O resultado da PROD no ponto máximo obtido neste presente estudo (6.099 kg ha^{-1}), foi superior à média de produtividade para a cultura no âmbito nacional (2.991 kg ha^{-1}) e no estado de Goiás (2.920 kg ha^{-1}), com um aumento médio de 104 e 108%, respectivamente. Diante desses resultados, mesmo com a redução de algumas características morfológicas do sorgo com a aplicação do produto, é possível inferir que não foram suficientes para afetar os componentes agronômicos, os quais foram favorecidos com a aplicação do BR. Este resultado pode ser um reflexo do incremento da razão de massa radicular, uma vez que os BR regulam vários traços agronômicos importantes como a rizogênese (indução da formação das raízes) (BHARDWAJ et al., 2013). Deste modo, o crescimento do sistema radicular pode exercer fortes influências na produtividade do sorgo, permitindo melhor exploração dos recursos (ANDRADE NETO et al., 2010).

A análise de variáveis canônicas ordenou a inter-relação entre as variáveis e as concentrações de BR. A variância acumulada nas duas variáveis canônicas representa 88,9% das variações dos dados (Figura 4). A maior produtividade de grãos foi alcançada em plantas sob concentrações de BR próximas de $0,050 \text{ mg L}^{-1}$, da mesma forma ocorreu os componentes do rendimento como o comprimento de panícula e a massa de 100 grãos que obtiverem resultados maiores nas concentrações menores, próximas de $0,050 \text{ mg L}^{-1}$. As concentrações $0,025$, $0,075$, $0,100$ e $0,125 \text{ mg L}^{-1}$ tiveram resultados semelhantes, e o tratamento controle ($0,000 \text{ mg L}^{-1}$), o menor desempenho produtivo.

Como já foi abordado no decorrer teste trabalho, vários fatores de estresse abiótico contribuem significativamente para grandes perdas na produtividade e o BR tem demonstrado eficácia na melhoria do rendimento das culturas. Isto é evidenciado pela aplicação exógena de BR, que além de incrementos morfológicos observados, tem forte influência nas mudanças bioquímicas do sorgo, como o aumento da atividade de catalase (CAT), o conteúdo de prolina livre e de ácidos nucléicos (BAJGUZ e HAYAT, 2009; VARDHINI e ANJUM, 2015), cujas alterações atenuam os efeitos do estresse hídrico, que porventura acometeu as plantas no presente estudo (VASCONCELOS et al., 2009; MONTEIRO et al., 2014).

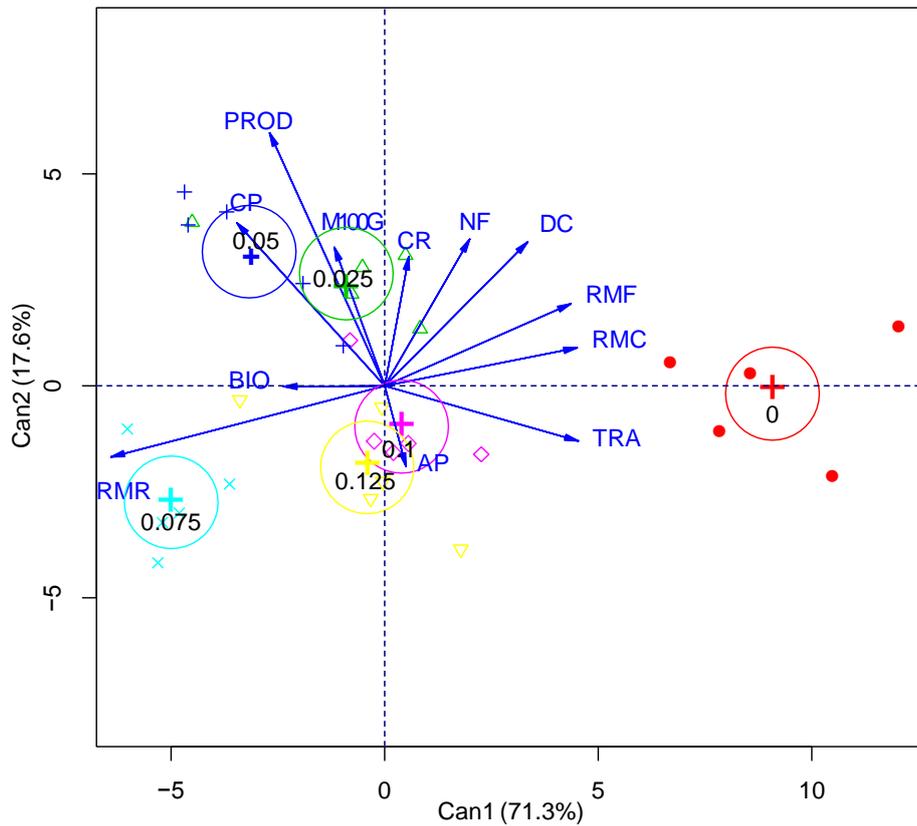


Figura 4. Análise de variáveis canônicas entre as variáveis altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), comprimento da raiz (CR), número e folhas (NF), razão da massa caulinar (RMC), razão da massa foliar (RMF), razão da massa radicular (RMR), teor relativo de água (TRA), biomassa seca total (BIO), comprimento de panícula (CP), massa de 100 grãos (M100G) e produtividade de grãos (PROD) de plantas de sorgo submetidas a diferentes concentrações de brassinosteróide: 0,000; 0,025; 0,050; 0,075; 0,100 e 0,125 mg L⁻¹.

6. CONCLUSÕES

A aplicação exógena do brassinosteróide atenua os efeitos deletérios dos estresses abióticos, sem grandes impactos negativos sobre os componentes agronômicos da planta de sorgo e, conseqüentemente, gera maiores produtividades.

As maiores produtividades de grãos do sorgo do híbrido 1G100, foram obtidas na dose de 0,049 ml L⁻¹, sendo este rendimento superior à média nacional e à média do estado de Goiás. Portanto, podemos destacar que houve um efeito positivo do regulador vegetal brassinosteróide no desenvolvimento morfológico e desempenho agronômico das plantas de sorgo.

7. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. G. F.; PARRELLA, R. A. C.; SIMEONE, M. L. F.; RIBEIRO, P. C. O.; BARBOSA, G. M. P.; BRITO, P. L. B.; COSTA, A. S. V.; SANTOSA, A. S. Characterization of cell wall polysaccharides and cellulosic ethanol potential in genotypes of sorghum biomass. **International Journal of Development Research**, v. 9, n. 4, p. 26810-26820, 2019.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C., GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift Germany**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ANDRADE NETO, R. C.; MIRANDA, N. O.; DUDA, G. P.; GÓES, G. B.; LIMA, A. S. Crescimento e produtividade do sorgo forrageiro BR 601 sob adubação verde. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 124-130, 2010.
- ASSEFA, Y.; STAGGENBORG, S. A.; PRASAD, V. P. V. Grain sorghum water requirement and responses to drought stress: a review. **Crop Management**, v. 9, n. 1, p. 1-11, 2010.
- BAJGUZ, A.; HAYAT, S. Effects of brassinosteroids on the plant responses to environmental stresses. **Plany Physiology and Biochemistry**, v. 47, n. 1, p. 1-8, 2009.
- BHARDWAJ, R.; SHARMA, I.; KAPPOR, D.; GAUTAM, V.; KAUR, R.; BALI, S.; SHARMA, A. Brassinosteroids: Improving Crop Productivity and Abiotic Stress Tolerance. **Physiological Mechanisms and Adaptation Strategies in Plants Under Changing Environment**, p. 161-187, 2013.
- BHERING, L. L. RBio: A Tool for Biometric and Statistical Analysis Using the R Platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, p. 187-190, 2017.
- BORGES, L. P. **Brassinosteróide e silício nas culturas do milho e sorgo**. Tese (Doutorado), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano. Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia, 2018. 110p.
- BÜCKER-NETO, L.; PAIVA, A. L. S.; MACHADO, R. D.; ARENHART, R. A.; MARGIS-PINHEIRO, M. Interactions between plant hormones and heavy metals responses. **Genetics and Molecular Biology**, v. 40, n. 1, p. 373-386, 2017.
- CHE, R.; TONG, H.; SHI, B.; LIU, Y.; FANG, S.; LIU, D.; XIAO, Y.; HU, B.; LIU, L.; WANG H. et al. Control of grain size and rice yield by GL2-mediated brassinosteroid responses. **Nature Plants**, v. 2, p. 1-7, 2016.
- COLL, Y.; COLL, F.; AMORÓS, A.; PUJOL, M. Brassinosteroids roles and applications: an up-date. **Biologia**, v. 70, p. 726-732, 2015.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **12º Levantamento – Safra 2019/20**. Tabela de levantamentos, 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/gaos/boletim-da-safra-de-gaos>>. Acesso em: 23 nov. 2020.

CORTEVA. **Híbrido de sorgo 1G100**. Brevant Sementes. Corteva Agriscience, 2020. Disponível em: <<https://www.brevant.com.br/produtos/sorgo/1g100.html>>. Acesso em: 16 dez. 2020.

CYSNE, J. R. B.; PITOMBEIRA, J. B. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de sorgo granífero em diferentes ambientes do estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 2, p. 273-278, 2012.

EGAMBERDIEVA, D.; WIRTH, S. J.; ALQARAWI, A. A.; ABD-ALLAH, E. F.; HASHEM, A. Phytohormones and Beneficial Microbes: Essential Components for Plants to Balance Stress and Fitness. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, p. 1-14, 2017.

FARIDUDDIN, Q.; YUSUF, M.; AHMAD, I.; AHMAD, A. Brassinosteroids and their role in response of plants to abiotic stresses. **Biologia Plantarum**, v. 58, n. 1, p. 9-17, 2014.

GRUSZKA, D. Crosstalk of the Brassinosteroid Signalosome with Phytohormonal and Stress Signaling Components Maintains a Balance between the Processes of Growth and Stress Tolerance. **International Journal of Molecular Sciences**, p. 1-47, 2018.

HAUSSMANN, B. I. G.; FRED RATTUNDE, H.; WELTZIEN-RATTUNDE, E.; TRAORÉ, P. S. C.; VOM BROCKE, K.; PARZIES, H. K. Breeding strategies for adaptation of pearl millet and sorghum to climate variability and change in west Africa. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 198, n. 5, p. 327-339, 2012.

HERNÁNDEZ, P. E.; GONZÁLEZ, M. L. C.; VALDÉS, J. A. A.; MEDINA, D. D.; NAVEDA, A. F.; SILVA, T.; CHACÓN, X. R.; SEPÚLVEDA, L. Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) as a potential source of bioactive substances and their biological properties. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 12, p. 1-12, 2020.

HOLÁ, D.; ROTHOVÁ, O.; KOCOVÁ, M.; KOHOUT, L.; KVASNICA, M. The effect of brassinosteroids on the morphology, development and yield of field-grown maize. **Plant Growth Regulation**, v. 61, p. 29-43, 2010.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de dados meteorológicos**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA: Brasília, 2020. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 16 dez. 2020.

JANECZKO, A.; OKLESTKOVÁ, J.; POCIECHA, E.; KOSCIELNIAK, J.; MIREK, M. Physiological effects and transport of 24-epibrassinolide in heat-stressed barley Heat production. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 33, p. 1249-1259, 2011.

JARDIM, A. M. R. F.; SILVA, G. I. N.; BIESDORF, E. M.; PINHEIRO, A. G.; SILVA, M. V.; ARAÚJO JÚNIOR, G. N.; SANTOS, A.; ALVES, H. K. M. N.; SOUZA, M. S.; MORAIS, J. E. F.; ALVES, C. P.; SILVA, T. G. F. Production potential of *Sorghum bicolor* (L.) Moench crop in the Brazilian semiarid: review. **PUBVET**, v. 14, n. 4, p. 1-13, 2020.

KEBROM, T. H.; MCKINLEY, B.; MULLET, J. E. Dynamics of gene expression during development and expansion of vegetative stem internodes of bioenergy sorghum. **Biotechnology for Biofuels**, v. 10, n. 1, p. 159, 2017.

LANDAU, E. C.; SANS, L. M. A. **Cultivo de sorgo**. 4 ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de Produção, 2008.

LIU, J.; CHEN, J.; ZHENG, X.; WU, F.; LIN, Q.; HENG, Y.; TIAN, P.; CHENG, Z.; YU, X.; ZHOU, K.; ZHANG, X. et al. *GW5* acts in the brassinosteroid signalling pathway to regulate grain width and weight in rice. **Nature Plants**, v. 3, n. 5, p. 1-12, 2017.

LUNA, D. F.; PONS, A. B. S.; BUSTOS, D.; TALEISNIK, E. Early responses to Fe-deficiency distinguish *Sorghum bicolor* genotypes with contrasting alkalinity tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 155, p. 165-176, 2018.

MAGALHÃES, K. S.; NEGRI, B. F.; SOUSA, S. M. **Análise morfológica do sistema radicular do painel de diversidade de milho da Embrapa Milho e Sorgo**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, nº 64. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013.

MAGALHÃES, P. C. C.; SOUZA, T. C.; SCHAFFERT, R. E. Ecofisiologia. In: RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Cultivo do sorgo**. 9 ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Ecofisiologia da produção de sorgo**. 1 ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. S. **Cultivo do sorgo**. 4 ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. S. Ecofisiologia. In: RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Cultivo do sorgo**. 8 ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. S. **Fisiologia da planta de sorgo**. 1 ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003.

MARCH, S. R.; MARTINS, D.; MCELROY, J. S. Growth inhibitors in turfgrass. **Planta Daninha**, v. 31, n. 3, p. 733-747, 2013.

MARTINS, L. S.; MENEZES, C. B.; SIMON, G. A.; SILVA, A. G.; TARDIN, F. D.; GONÇALVES, F. H. Adaptabilidade e estabilidade de híbridos de sorgo granífero no sudoeste de Goiás. **Agrarian**, v. 9, n. 34, p. 334-347, 2016.

MENEZES, C. B.; SALDANHA, D. C.; SANTOS, C. V.; ANDRADE, L. C.; MINGOTE JÚLIO, M. P.; PORTUGAL, A. F.; TARDIN, F. D. Evaluation of grain yield in sorghum hybrids under water stress. **Genetics and Molecular Research**, v. 14, n. 4, p. 12675-12683, 2015.

MONTEIRO, J. G.; CRUZ, F. J. R.; NARDIN, M. B.; SANTOS, D. M. M. Crescimento e conteúdo de prolina em plântulas de guandu submetidas a estresse osmótico e à putrescina exógena. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 1, p. 18-25, 2014.

NIMIR, N. E. A.; ZHOU, G.; GUO, W.; MA, B.; LU, S.; WANG, Y. Effect of foliar application of GA3, kinetin, and salicylic acid on ions content, membrane permeability, and photosynthesis under salt stress of sweet sorghum *Sorghum bicolor* (L.) Moench. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 97, n. 3, p. 525-535, 2016.

PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 327p.

PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. Boas práticas para o uso eficiente de fertilizantes. **Instituto Internacional de Nutrição de Plantas**, v. 3, p. 05-35, 2010.

RADEMACHER, W. Plant growth regulators: backgrounds and uses in plant production. **Journal of plant growth regulation**, v. 34, p. 845-872, 2015.

R CORE TEAM, R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2018.

SANS, L. M. A.; MORAIS, A. V. C.; GUIMARÃES, D. P. **Época de plantio de sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico 80, 2003.

SILVA, A. J. R.; SPIERING, B.; MENEZES, C. B.; TARDIN, F. D. Avaliação de genótipos de sorgo em Sinop-MT. **XIII Seminário de Iniciação Científica PIBIC/BIC Júnior**, p. 1-4, 2018.

SYSTAT SOFTWARE. **Inc. For windows, version 10.0. SigmaPlot**. Chicago, Illinois, 2006.

USDA. United States Department of Agriculture. **Word Agricultural Production**. Circular Series, 2020. Disponível em: <<https://www.fas.usda.gov/data/world-agricultural-production>>. Acesso em: 23 nov. 2020.

VARDHINI, B. V.; ANJUM, N. A. Brassinosteroids make plant life easier under abiotic stresses mainly by modulating major components of antioxidant defense system. **Frontiers in Environmental Toxicology**, v. 2, n. 67, p. 1-16, 2015.

VASCONCELOS, A. C. F.; ZHANG, X.; ERVIN, E. H.; KIEHL, J. C. Enzymatic antioxidant responses to biostimulants in maize and soybean subjected to drought. **Scientia Agrícola**, v. 66, n. 3, p. 395-402, 2009.

VASILAKOGLU, I.; DHIMA, K.; KARAGIANNIDIS, N.; GATSIS, T. Sweet sorghum productivity for biofuels under increased soil salinity and reduced irrigation. **Field Crops Research**, v. 120, n. 1, p. 38-46, 2011.

WANG, X. H.; SHU, C.; LI, H. Y.; HU, X. Q.; WANG, Y. X. Effects of 0.01% brassinolide solution application on yield of rice and its resistance to autumn low-temperature damage. **Acta Agriculturae Jiangxi**, v. 26, p. 36-38, 2014.

YUAN, G. F.; JIA, C. G.; LI, Z.; SUN, B.; ZHANG, L. P.; LIU, N.; WANG, Q. M. Effect of brassinosteroids on drought resistance and abscisic acid concentration in tomato under water stress. **Scientia Horticulturae**, v. 126, n. 2, p. 103-108, 2010.

ZANDEN, A. M. V. D. **How hormones and growth regulators affect your plants**. Oregon State University, 2012. Disponível em: <<https://extension.oregonstate.edu/gardening/techniques/how-hormones-growth-regulators-affect-your-plants>>. Acesso em: 08 jan. 2021.

ZHANG, C.; BAI, M. Y.; CHONG, K. Brassinosteroid-mediated regulation of agronomic traits in rice. **Plant Cell Reports**, v. 33, p. 683-696, 2014.

ZHU, X.; LIANG, W.; CUI, X.; CHEN, M.; YIN, C.; LUO, Z.; ZHU, J.; LUCAS, W. J.; WANG, Z.; ZHANG, D. Brassinosteroids promote development of rice pollen grains and seeds by triggering expression of Carbon Starved Anther, a MYB domain protein. **The Plant Journal**, v. 82, p. 570-581, 2015.