

Câmpus
Ipameri



Universidade
Estadual de Goiás



Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal

**IMPORTÂNCIA DO BRASSINOSTEROIDE NA PRODUTIVIDADE
DE SOJA**

VÍCTOR ALVES AMORIM

MESTRADO

Ipameri-GO

2020

VÍCTOR ALVES AMORIM

**IMPORTÂNCIA DO BRASSINOSTEROIDE NA
PRODUTIVIDADE DE SOJA**

Orientador: Prof. Dr. Fábio Santos Matos

Co-Orientadora: Dra. Larissa Pacheco Borges

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

2020

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

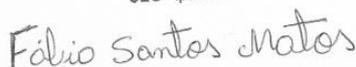
TÍTULO: “IMPORTÂNCIA DO BRASSINOSTEROIDE NA PRODUÇÃO DE SOJA”

AUTOR(A): Victor Alves Amorim

ORIENTADOR(A): Fábio Santos Matos

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

Fábio Santos Matos
Docente de Nível Superior
UEG - Ipameri



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



Prof^ª. Dr.^a. Jôsie Cloviane de Oliveira Freitas
Universidade Estadual de Goiás/Unidade Universitária Posse - GO



Prof. Dr. Anderson Evaristo Barbosa
Universidade Federal dos Vales de Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) –Campus Unai

Registro de Declaração

Número: 073

Livro: R-01 Folhas: 2

Data: 11/11/2020



Data da realização: 11 de novembro de 2020

A fé raciocinada, por se apoiar nos fatos e na lógica, nenhuma obscuridade deixa. A criatura então crê, porque tem certeza, e ninguém tem certeza senão porque compreendeu. Eis por que não se dobra. *Fé inabalável só o é a que pode encarar de frente a razão, em todas as épocas da Humanidade.*

Allan Kardec (1864).

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	01
2. OBJETIVO	04
3. MATERIAL E MÉTODOS	05
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	08
5. CONCLUSÕES	14
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo identificar os efeitos do regulador vegetal brassinolídeo no crescimento e produtividade de plantas de soja. O trabalho foi conduzido na fazenda Olhos d'Água localizada em Ipameri, Goiás. Foi utilizada a cultivar TEC 7022 IPRO e seis concentrações de brassinolídeo (0, 0,025, 0,050, 0,075, 0,1 e 0,125 mg L⁻¹) de uma solução pré-preparada com vazão de 100 L ha⁻¹. As aplicações ocorreram nos estádios R₃ e R₆. O experimento foi montado seguindo o delineamento em blocos casualizados com cinco repetições. A parcela experimental foi de 36 x 111 m com espaçamento de 0.5 m entre linhas. O uso de brassinolídeo nos estádios R₃ e R₆ na concentração de 0,072 mg L⁻¹ incrementa a produtividade de soja em 25,1%. O brassinolídeo aumenta a força dreno dos grãos e altera a partição de assimilados para o desenvolvimento reprodutivo (número de vagens, número de grãos, massa de grão por planta e produtividade) em detrimento do vegetativo sem comprometimento da absorção de solução do solo.

Palavras-chave: Hormônio; *Glycine max*; Regulador vegetal.

ABSTRACT

The present study aims to identify the effects of brassinolide plant regulator in yield and growth of soybean plants. The work was carried out at Olhos d'Água farm located in Ipameri, Goiás, Brazil. It was used the TEC 7022 IPRO with six brassinolide concentrations (0, 0.025, 0.050, 0.075, 0.1 and 0.125 mg L⁻¹) of a pre-prepared solution and pulverized with a 100 L ha⁻¹ flow rate. The applications were executed in R₃ and R₆ stages. The experiment was carried out following the completely randomized design with five replications. Each experimental plot was set up with 36x111 meters, with 0.5 meters between lines. The brassinolide applications in R₃ and R₆ stages with 0.072 mg L⁻¹ concentration increased the yield in 25.1%. Brassinolide increase the grains sink-source relationship and change the assimilates partition to reproductive development (pods number, grain number, grain weight per plant and yield) instead of vegetative growth, without compromising absorption of soil solution.

Keywords: Brassinosteroid; *Glycine max*; Plant growth regulator

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max*) é considerada uma das mais importantes espécies graníferas, e pela alta concentração de proteína e óleo, os grãos são utilizados na fabricação de rações na produção animal, óleos vegetais e produção de alimentos. Devido à alta versatilidade da soja na indústria, é crescente a demanda no mercado mundial.

Conforme dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2020), houve crescimento de 3% da área plantada na safra 2019/2020 em comparação a safra passada 2018/2019. A produção estimada é de 124,8 milhões de toneladas superando em 4,3% a safra anterior. Segundo a Food and Agriculture Organization (FAO, 2019), o Brasil se tornará soberano na produção de soja até 2028. Devido aos desentendimentos políticos e comerciais entre Estados Unidos e China recentemente, o Brasil, pode se beneficiar de um grande consumidor e ampliar sua parceria aumentando ainda mais as exportações dos grãos de soja.

O centro-oeste é a principal região produtora de soja no Brasil, com 16,5 milhões de hectares, e com a tecnologia de última geração vem atingindo a maior produtividade da história. O estado de Goiás produziu 12,4 milhões de toneladas na safra 2019/2020, superior em 9% a safra anterior, com produtividade média de 3516 kg ha⁻¹ (CONAB, 2020). A pandemia do Covid-19 resultou na valorização do dólar, crise econômica e reduções na jornada de trabalho, no entanto, não reduziu a comercialização da soja em comparação ao ano de 2019.

Com alta perspectiva de crescimento do cultivo de soja no Brasil, a maior produção deve estar atrelada ao aumento de produtividade e não a ampliação da área cultivada. As regiões ocupadas pelo bioma Cerrado são amplamente ocupadas por atividades agrícolas. A abertura de área em outras regiões é bastante restrita pelo Código Florestal Brasileiro e varia muito de cidade e estado, limitando a expansão agrícola. A crescente preocupação mundial com a proteção dos recursos naturais inviabiliza a recorrente prática do desmatamento para abrir novas áreas e destiná-las ao plantio de espécies cultivadas. Como a área disponível para o cultivo é limitada, será necessário aperfeiçoar técnicas de cultivo que impulsionem a produtividade (SCHÜTZ et al., 2018).

Uma das técnicas utilizadas para incremento de produtividade em inúmeras espécies cultivadas é o uso de hormônios vegetais que visa aprimorar a morfologia e fisiologia da planta para aumentar a produção (NIU et al., 2016). Os hormônios vegetais participam do processo de germinação, estabelecimento, crescimento, maturação dos frutos e outros, e caso sejam corretamente utilizados, pode proporcionar vantagens inclusive em situações desfavoráveis ao crescimento (MATOS et al., 2019).

Os brassinosteroides representam uma classe de hormônios vegetais esteroides de descoberta em 1970 e ainda pouco utilizado em cultivos comerciais após ser considerado um hormônio vegetal na década de 90 (MITCHELL et al., 1970). Esta classe de hormônios regula diversas funções no crescimento da planta como expansão e divisão celular, fotomorfogênese, reprodução, defesas a estresses bióticos e abióticos, fotossíntese e atividade da ribulose-1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase (RubisCO) e fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPcase) (NOLAN et al., 2020). Estudos de aplicações de brassinosteroides em plantas como pepino, *Arabidopsis*, arroz, tomate, soja e várias outras espécies demonstram que essa classe de hormônio regula diversos genes em processos fisiológicos e de desenvolvimento (ANWAR et al., 2018; KANWAR et al., 2017).

Ao longo dos anos foram identificados mais de 60 fitoesteroides relacionados aos brassinosteroides e, dentre estes, o brassinolídeo (BL) é mais ativo por apresentar ação hormonal mais eficiente em menores concentrações, no entanto, outros componentes como a castesterona, 24-epibrassinolideo e 28-homobrassinolídeo são tipos de brassinosteroides, porém, são de fraca atividade (TAIZ et al., 2017). As primeiras pesquisas com o BL demonstraram que sua utilização aumenta a produção de algumas espécies cultivadas principalmente em condições de estresse abiótico (PERES et al., 2019).

Segundo Song et al. (2019), os brassinosteroides atuam na soja desde a germinação da semente até o florescimento e em condições de estresse abiótico e biótico, regulando genes no processo de alongamento do epicótilo, formação das raízes e vagens, determinando o tamanho das células e interferindo até mesmo no processo de nodulação em certas cultivares de soja. Frequentemente, diversos estudos são publicados esclarecendo ainda mais a participação dos BR na soja, tal como, senescência foliar, resposta à estresses, formação da parede celular, atividade enzimática, entre outros (YIN et al., 2019; HUO et al., 2018; PEREIRA et al., 2019).

Diversos métodos, técnicas e ferramentas são utilizados para identificar a influência do hormônio nos processos de crescimento e desenvolvimento, como por exemplo, análises genéticas, enzimáticas, fotossintéticas e celulares (PLANAS-RIVEROLA et al., 2019). As respostas das plantas de soja ao BL podem variar e para atingir o potencial máximo produtivo é necessário identificar as alterações morfofisiológicas proporcionadas pelo hormônio. Os hormônios reagem de maneira complexa nas plantas e sua ação é dependente da concentração, método de aplicação, espécie, clima, estágio de desenvolvimento e outros fatores (JUN et al., 2018).

Com o aumento das informações referentes as funções que os hormônios desempenham nas plantas, a prática de utilização dos hormônios em cultivos comerciais cresce com o passar dos anos e o aprimoramento dessas técnicas de manejo torna-se necessário tanto para o aumento

da produtividade quanto para preservação do meio-ambiente, de modo que evite a utilização de novas áreas para a agricultura.

2 OBJETIVO

O presente estudo teve como objetivo identificar os efeitos do regulador vegetal brassinolídeo no crescimento e produtividade de soja.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1- Avaliar o efeito do brassinosteroide no crescimento de plantas de soja a partir de uma gama de variáveis morfofisiológicas;
- 2- Avaliar o efeito do brassinosteroide na produtividade de plantas de soja;
- 3- Identificar o incremento percentual de produtividade para análise de viabilidade econômica em trabalhos posteriores.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Desenho experimental

O trabalho foi conduzido na Fazenda Olhos d'Água localizada no município de Ipameri, Goiás (Lat. 17° 41' 45'' S, Long. 48° 22' 39'' W, Alt. 713 m). Esta região possui clima Aw (clima savânico), de acordo com a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013), caracterizado por clima tropical úmido, com verão chuvoso e inverno seco. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, com textura argilosa (290 g kg⁻¹ de argila), com 11 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 correção do pH e adubação de acordo com recomendações técnicas para a cultura (PROCHNOW et al., 2010).

Foi utilizado 130 Kg ha⁻¹ de Cloreto de Potássio (KCl) à lanço aos 30 dias antes da semeadura. A soja TEC 7022 IPRO, que possui o ciclo de aproximadamente 120 dias, foi semeada em 15 de novembro de 2018, sendo utilizado junto a semeadura o adubo MAP (Fosfato Monamônico: 11-52-0) na quantidade de 200 Kg ha⁻¹. Uma semana antes da implantação do experimento foi realizada a dessecação das plantas daninhas aplicando, mecanicamente, o equivalente a 1240 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate e 0,5 L ha⁻¹ de 2,4 d em um volume de calda de 100 L ha⁻¹. A adubação e o plantio foram realizados com semeadura de dezesseis linhas em que foram empregadas 350.000 sementes ha⁻¹.

As sementes foram submetidas ao tratamento com Fungicida/Inseticida de nome comercial Standak Top e à inoculação de *Bradyrhizobium japonicum*, na proporção mínima de 12x10⁵ células da bactéria por semente. Os tratamentos culturais foram realizados através da aplicação do herbicida Crucial de princípio ativo Glifosato, trinta dias após a emergência, adicionando a esta calda os micronutrientes: boro, manganês, molibdênio e cobalto via foliar. Foram realizadas duas aplicações de fungicidas (Ativum e Orquestra) somadas a aplicações de cobre e zinco, seguindo a recomendação determinada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa (2011). Os inseticidas Nomolt, Lannate, Acefato Nortox e Egeo Pleno, foram aplicados no momento em que as pragas alcançaram seu nível de controle, realizando-se cinco aplicações durante o ciclo da cultura.

Inicialmente foi preparada uma solução estoque de brassinolídeo. Pesou-se 1 mg de brassinolídeo, que foi dissolvida em 10 mL de álcool, em seguida, o volume foi completado para 1000 mL com água destilada. A partir da diluição da solução obtida, foram utilizados os

seguintes tratamentos em plantas de soja: 0,025 mg L⁻¹, 0,05 mg L⁻¹, 0,075 mg L⁻¹, 0,1 mg L⁻¹ e 0,125 mg L⁻¹ de brassinolídeo. De acordo com estudos anteriores, as aplicações do hormônio, são mais eficazes, em relação à incrementos na produção, nos estádios reprodutivos. As duas aplicações do regulador vegetal foram realizadas na fase em que a planta se encontrava em estádios reprodutivos, correspondente ao estágio fenológico R₃ e R₆. As aplicações das soluções foram realizadas com um pulverizador de arrasto, com vazão de 100 L ha⁻¹.

A figura 1 apresenta os dados disponibilizadas pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) sobre a pluviosidade e temperaturas máxima e mínima no período de setembro de 2018 até maio de 2019 no município de Ipameri. Conforme os dados meteorológicos exibidos na figura 1, verifica-se que na safra de 2018/2019 houve irregularidades na precipitação durante o ciclo da cultura. A precipitação acumulada foi de aproximadamente 1061 mm durante o ciclo da cultura, porém, ocorreu dois períodos de baixa pluviosidade, sendo o primeiro de 17 dias entre 5 e 22 de dezembro de 2018 com precipitação total de 2,4 mm, e o segundo de 22 dias, entre 14 de janeiro e 5 de fevereiro de 2019, com precipitação de 21,3 mm.

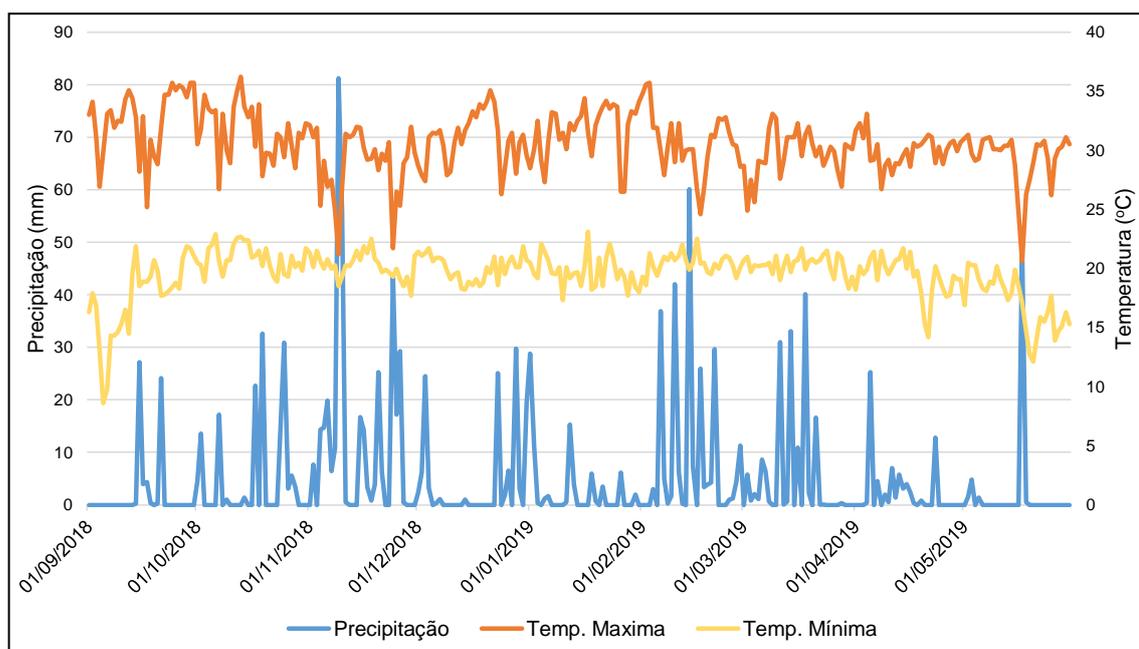


Figura 1. Precipitação, temperaturas máxima e mínima do município de Ipameri, Goiás, no período de 01/09/2018 até 30/05/2019 (INMET, 2019).

No estágio fenológico R₉ (maturação de colheita) foram analisadas as variáveis: massa da raiz, altura, número de vagens, número de grãos por planta, grãos por vagem, massa de grãos por planta, inserção da primeira vagem, número de nós e comprimento da raiz, produtividade e massa de 100 grãos.

Variáveis de crescimento

A altura de planta foi mensurada a partir do solo até o ponto mais alto da planta, utilizando régua graduada. As raízes foram coletadas com solo úmido e o máximo de cuidado

para a melhor preservação possível. O comprimento da raiz foi obtido com régua graduada da zona de transição entre caule/raiz (coletor) ao nível do solo até a maior extensão. As raízes foram destacadas e colocadas para secar em estufa a 72 °C por 72 h, até atingir massa seca constante e, posteriormente, pesadas.

Variáveis produtivas

As variáveis relacionadas com o rendimento de grãos foram mensuradas quando as plantas atingiram o estágio R₉. Foi determinado o número de grãos por planta, grãos por vagem, número de nós, inserção da primeira vagem, massa de 100 grãos, massa de grãos por planta e número de vagens por planta. A medição da produtividade foi obtida por colheita mecanizada e ajustada a umidade de 13% no estágio R₉.

Delineamento experimental e procedimentos estatísticos

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados com cinco blocos, uma parcela por bloco, a parcela experimental de cada tratamento foi de 36 x 111 m, com espaçamento de 0,5 m entre linhas e 11 plantas por metro linear. Foram selecionadas 2 plantas aleatoriamente por bloco e, os valores obtidos, foram divididos para a obtenção dos valores apresentados nos gráficos. Os dados foram submetidos às análises de regressão, multivariada de regressão múltipla e variáveis canônicas utilizando o software Sigmaplot, Statistica e RBio (SYSTAT, 2011; STATSOFT, 2007, BHERING, 2017).

4 RESULTADOS E DICUSSÃO

Pelo menos seis genes são responsáveis pela sinalização dos brassinosteroides em soja, mais complexo que outras espécies como o arroz e *Arabidopsis* (PENG et al., 2016). A complexidade do entendimento do papel dos hormônios vegetais nos processos fisiológicos e de crescimento torna-se desafiador quanto a compreensão das funções do brassinolídeo em plantas de soja.

Segundo Taiz et al. (2017), experimentos realizados em vários países em diversas regiões no mundo mostram que as respostas da utilização de brassinolídeo em muitas espécies cultivadas variam conforme a condição ambiental em que foram submetidas, e os resultados mais significativos, em aumentos expressivos da produtividade, foram obtidos de experimentos em campo, onde as condições de estresse foram acentuadas.

A análise de variância para todas as variáveis estão nas tabelas 1, 2 e 3. Na tabela 1 encontra-se as variáveis número de vagens por planta, grãos por planta, grãos por vagem por planta, massa de grãos por planta, massa de 100 grãos e produtividade. Apenas as variáveis número de vagens por planta e inserção da primeira vagem obtiveram significância, e abaixo de 1%, segundo o teste F para os concentrações de BL.

Tabela 1. Análise de variância e teste de média para as variáveis número de vagens por plantas (VP), grãos por planta (GP), grãos por vagem por planta (GPV) e inserção da primeira vagem (Ins1V) de plantas de *Glycine max* submetidas a diferentes concentrações de brassinolídeo.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios			
		VP	GP	GPV	Ins1V (cm)
BL	5	125,22**	399,29 ^{ns}	0,26 ^{ns}	21,14*
Bloco	4	11,25 ^{ns}	172,32 ^{ns}	0,04 ^{ns}	11,09 ^{ns}
Resíduo	20	28,45	148,26	0,12	6,96
CV (%)		16,07	15,98	14,91	15,85
Tratamento		Médias			
0		27,0 (100%)	61,0 (100%)	2,3 (100%)	17,9 (100%)
0,025		32,0 (118%)	78,5 (128%)	2,4 (104%)	13,9 (77%)
0,05		27,9 (103%)	74,5 (113%)	2,6 (113%)	15,8 (88%)
0,075		39,2 (145%)	77,0 (126%)	2,0 (86%)	19,0 (106%)
0,1		36,1 (133%)	90,0 (147%)	2,4 (104%)	18,6 (103%)
0,125		37,1 (137%)	78,8 (127%)	2,1 (91%)	15,0 (83%)

*significativo a 5% de probabilidade; **significativo a 1% de probabilidade; ns= não significativo pelo teste F.

Na tabela 2 consta as variáveis número de nós, massa seca da raiz, comprimento da raiz e altura. Obteve-se significância apenas para as variável massa seca da raiz, à 5%, e comprimento da raiz, à 1%, para as concentrações de BL.

Tabela 2. Análise de variância e teste de média para as variáveis número de nós (NNos), massa seca da raiz (MSRaiz), comprimento da raiz (CRaiz) e altura (Altura) de plantas de *Glycine max* submetidas a diferentes concentrações de brassinolídeo.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios			
		NNos	MSRaiz (g)	CRaiz (cm)	Altura (cm)
BL	5	2,16 ^{ns}	0,92 [*]	12,00 ^{**}	73,65 ^{ns}
Bloco	4	0,72 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,96 ^{ns}	77,16 ^{ns}
Resíduo	20	1,47	0,28	1,57	20,66
CV (%)		9,82	14,40	9,35	5,32
Tratamento		Médias			
0		12,2 (100%)	3,3 (100%)	15,9 (100%)	81,3 (100%)
0,025		12,1 (99%)	3,4 (101%)	14,5 (91%)	90,4 (111%)
0,05		12,8 (104%)	3,5 (104%)	11,5 (72%)	84,8 (104%)
0,075		13,4 (109%)	3,6 (106%)	12,6 (79%)	83,6 (102%)
0,1		11,3 (92%)	4,0 (118%)	12,8 (80%)	82,0 (100%)
0,125		12,2 (100%)	4,4 (130%)	13,0 (81%)	89,8 (110%)

*significativo a 5% de probabilidade; **significativo a 1% de probabilidade; ns= não significativo pelo teste F.

Na tabela 3 contém as variáveis massa de grãos por planta, massa de 100 grãos e produtividade. As variáveis massa de grãos e produtividade tiveram significância à 1% de probabilidade.

Tabela 3. Análise de variância e teste de média para as variáveis massa de grãos por planta (MG), massa de 100 grãos (M100G) e produtividade (PROD) de plantas de *Glycine max* submetidas a diferentes concentrações de brassinolídeo.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios		
		MG (g)	M100G (g)	PROD (Kg ha ⁻¹)
BL	5	64,65 ^{**}	1,47 ^{ns}	457709 ^{**}
Bloco	4	6,84 ^{ns}	1,17 ^{ns}	337945 ^{**}
Resíduo	20	9,09	1,34	48844
CV (%)		26,10	5,36	6,99
Tratamento		Médias		
0		6,3 (100%)	21,0 (100%)	2764,5 (100%)
0,025		14,3 (226%)	21,3 (101%)	3064,5 (110%)
0,05		7,8 (123%)	22,5 (107%)	3193,5 (115%)
0,075		15,0 (238%)	21,3 (101%)	3687,0 (133%)
0,1		12,8 (203%)	21,6 (102%)	3225,1 (116%)
0,125		13,1 (207%)	21,9 (104%)	3060,0 (110%)

*significativo a 5% de probabilidade; **significativo a 1% de probabilidade; ns= não significativo pelo teste F.

As variáveis número de vagens por planta, número de grãos por planta, massa de grãos por planta, massa seca da raiz, comprimento da raiz e produtividade apresentaram resultados significativos ($P < 0.05$) relacionados às aplicações de brassinolídeo segundo a análise de regressão. As aplicações de brassinolídeo não proporcionaram resultados estatisticamente

significativos e biologicamente compreensíveis para as demais variáveis analisadas, inclusive não ocorreu ajuste a nenhum modelo de regressão e, por isso, não foram demonstrados.

As variáveis número de vagens por planta, número de grãos por planta e massa seca da raiz ajustaram-se ao modelo de regressão linear. A massa de grãos por planta, comprimento da raiz e produtividade apresentaram ajuste quadrático. O número de vagens atingiu ponto máximo de 37,5 vagens na concentração de $0,125 \text{ mg L}^{-1}$, este valor é 33,2% maior que o número de vagens do tratamento controle (Figura 2). O número máximo de grãos foi de 85 grãos por planta, que é 25,5% superior ao tratamento controle (Figura 2). Em relação a massa de grãos por planta houve acréscimo até a concentração $0,096 \text{ mg L}^{-1}$ de brassinolídeo, com ponto máximo de 13,37 g, superior em 73,2% ao controle (Figura 2). A maior produtividade foi verificada na concentração $0,072 \text{ mg L}^{-1}$, correspondente a $3404,9 \text{ kg ha}^{-1}$, ganho de 25,1% em relação ao controle (Figura 2).

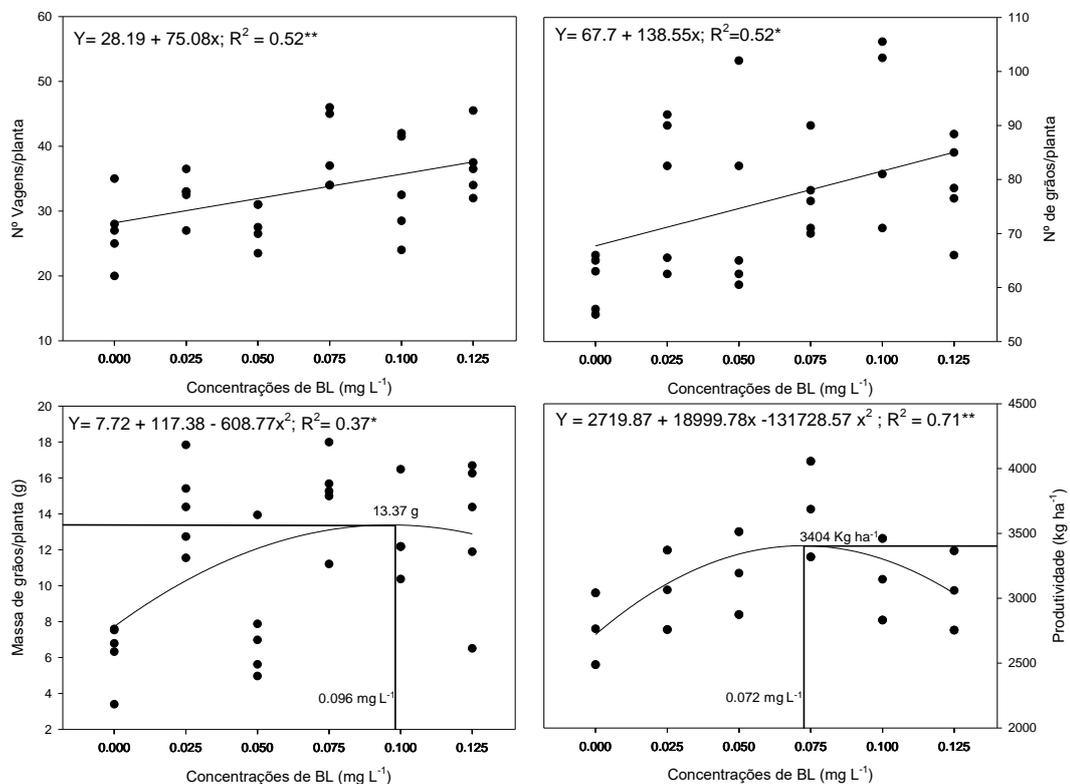


Figura 2. Regressão para número de vagens por planta, número de grãos por planta, massa de grãos por planta e produtividade de plantas de *Glycine max* tratadas com regulador vegetal brassinolídeo (BL). *Significativo a 5%; **Significativo a 1% de probabilidade.

O BL pode exercer alguns efeitos no processo fotossintético, aumentando a capacidade das plantas de soja, e assim, maior produção de assimilados para a sustentação de vagens e grãos. Hayat e Ahmad (2011) apresentam evidências concretas nesta relação, a maior atividade/conteúdo da RubisCO (ribulose 1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase) e enzimas antioxidantes como peroxidase e superóxido dismutase.

Com o aumento das concentrações de BL identificou-se o incremento no número de vagens e grãos e, conseqüentemente, o peso dos grãos por planta. A maior atividade da RubisCO e assimilação de CO₂ potencializa a fotossíntese e conseqüentemente a produção de fotoassimilados, no qual, intensifica o processo de transporte da fonte para o dreno e faz com que aumente a produção em comparação com as plantas não tratadas. Conforme Nakagawa et al. (2018), a escassez de assimilados pode induzir o abortamento em vagens jovens e encurtar o período de enchimento dos grãos, pela necessidade de realocação para manutenção do processo.

Outro fator verificado no estudo foi a intervenção do regulador no crescimento do sistema radicular (Figura 3). A massa seca da raiz aumentou linearmente, e na maior concentração (0,125 mg L⁻¹ = 4,2 g) foi superior em 31,9% em comparação com o controle. Para o comprimento da raiz ocorreu o inverso, com maiores doses diminuiu sua extensão, com ponto mínimo na concentração de 0,081 mg L⁻¹, que é 24,2% menor que o controle.

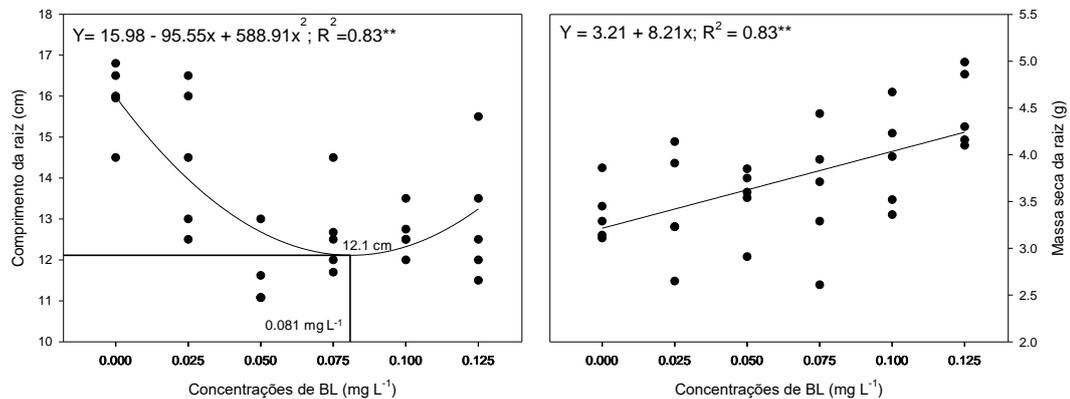


Figura 3. Regressão para comprimento da raiz e massa seca da raiz de plantas de *Glycine max* tratadas com regulador vegetal brassinolídeo (BL). *Significativo a 5%; **Significativo a 1% de probabilidade.

O comprimento das raízes é determinado pelo número e expansão das células, em que, o BL pode interferir em ambos os aspectos (YIN et al., 2018). As aplicações de BL podem interagir com outros hormônios como a auxina e etileno, podendo promover ou inibir o crescimento radicular dependendo da concentração utilizada, no entanto, apesar do efeito aditivo dos brassinosteroides com outros hormônios do crescimento da raiz, a divisão e expansão das células desse órgão pode ser estimulada pelos brassinosteroides de forma independente (MATOS et al., 2019; TAIZ et al., 2017).

No presente trabalho a concentração de BL de inibição do comprimento da raiz coincide com a maior produtividade de grãos de soja e pode representar uma partição de assimilados para a parte aérea destinada ao enchimento de grãos em detrimento das raízes. No entanto, a partir de $0,072 \text{ mg L}^{-1}$ a massa seca crescente do sistema radicular completo pode estar

relacionada com maior volume de raízes na superfície do solo e indicativo que às variações no comprimento da raiz principal não prejudicaram a absorção de solução de solo pelas raízes superficiais da planta.

A interação sinérgica do BL com a auxina pode promover o crescimento de raízes laterais. Wei e Li (2016) afirmam que baixas concentrações de BL promovem o desenvolvimento das raízes laterais por aumentar o transporte acrópeto de auxina. Quando este transporte se inicia no estelo, a auxina é rapidamente transportada para as células do periciclo e induz a formação dos primórdios das raízes laterais (CHAIWANON e WANG, 2015).

A maior parte dos nutrientes e água absorvidos pelas plantas são advindos das raízes laterais, que neste trabalho é representado pela massa seca das raízes, uma vez que o comprimento refere-se apenas à raiz principal. A água e os nutrientes absorvidos na solução do solo são utilizados em inúmeras reações químicas durante todo o processo de crescimento da planta (MATOS et al., 2019). A maior capacidade de absorção da solução do solo pode proporcionar a planta recursos para atingir seu máximo potencial fotossintético e aumentar a produção.

A análise de variáveis canônicas ordenou a inter-relação entre as variáveis e as concentrações de BL. A variância acumulada nas duas variáveis canônicas representa 78,4% das variações dos dados (Figura 4). A maior produtividade de grãos foi alcançada em plantas sob concentrações de BL na próximas de 0,075 mg L⁻¹. As concentrações 0,025, 0,05, 0,1 e 0,125 mg L⁻¹ tiveram resultados semelhantes, e o tratamento controle, o pior desempenho produtivo. As variáveis de crescimento (comprimento da raiz e altura) obtiveram resultados opostos em relação a produtividade, à medida que aumentou os valores das variáveis produtivas, ocorreu redução do crescimento. A utilização do hormônio nos estádios reprodutivos possibilitou a planta destinar os assimilados na produção, em vez do crescimento vegetativo.

A competição por assimilados entre o crescimento vegetativo e reprodutivo do vegetal é comum em inúmeras espécies frutíferas e também do cafeeiro que apresenta o fenômeno da bienalidade em decorrência desta competição conforme relatam Matos et al. (2019); Ryan et al. (2018); White et al. (2015). Neste aspecto, verifica-se a aplicação de BL no período reprodutivo da soja direciona os assimilados ao dreno prioritário, grãos, com forte indicativo de que o hormônio incrementa a força dreno dos grãos que passam a importar mais assimilados em detrimento do crescimento vegetativo, possivelmente esta ação ocorra de forma aditiva pelos hormônios citocinina e BL. Estes resultados corroboram aos encontrados por Borges et al. (2014) em plantas de soja tratadas com citocininas.

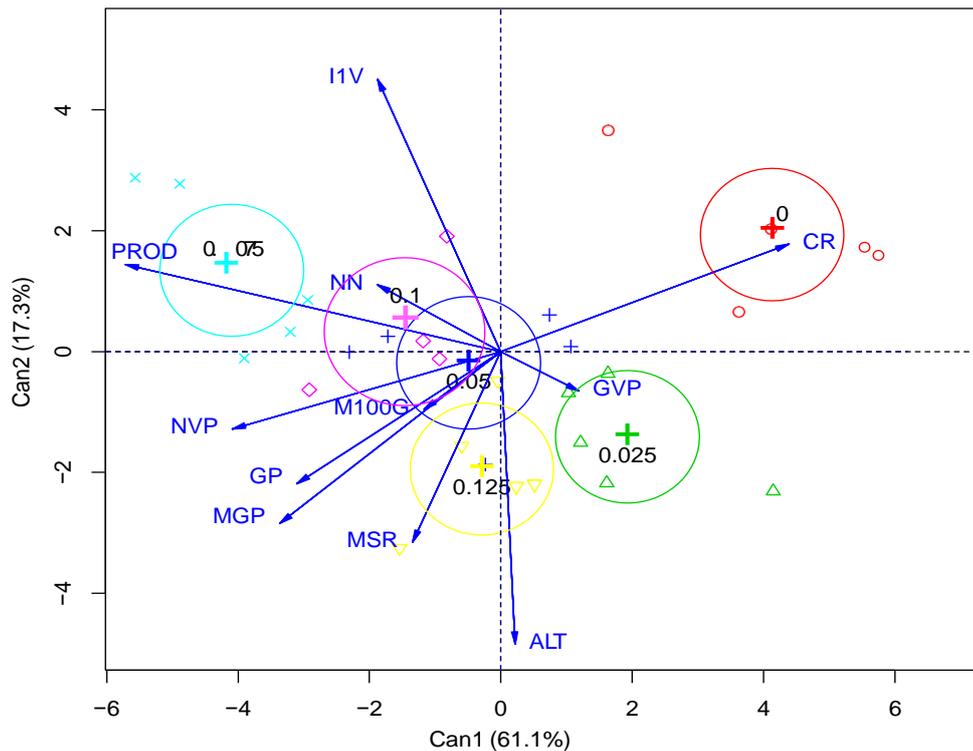


Figura 4. Análise de variáveis canônicas entre as variáveis altura (ALT), massa seca da raiz (MSR), comprimento da raiz (CR), número de nós (NN), grãos por planta (GP), massa de grãos por planta (MGP), número de grãos por planta (NGP), número de vagens por planta (NVP), massa de 100 grãos (M100G), inserção da primeira vagem (I1V), grãos por vagens (GVP) e produtividade (PROD) de plantas de *Glycine max*: não tratadas com brassinolídeo (0), 0,025 mg L⁻¹ (0,025), 0,050 mg L⁻¹ (0,05), 0,075 mg L⁻¹ (0,075), 0,1 mg L⁻¹ (0,1) e 0,125 mg L⁻¹ (0,125).

A análise de regressão múltipla (Tabela 3) representa 98% da variação do número de vagens por planta e demonstra que o número de grãos por planta, massa de 100 grãos e número de nós por planta interferiram positivamente no número de vagens por planta, enquanto o número de grãos por vagem teve importância negativa. A relação negativa entre o número de grãos por vagem e o número de vagens por planta pode ser relacionada entre a limitação da produção de fotoassimilados para custear ao mesmo tempo o aumento de grãos e número de vagens. Devido ao alto custo de energia bioquímica para o desenvolvimento da vagem e o crescimento das sementes, o abortamento de vagens que contém mais grãos torna-se comum em soja, principalmente em condições de estresse, quando os recursos são escassos, conforme relata Borges et al. (2014).

Tabela 4. Resumo da análise de regressão múltipla para avaliar os efeitos das variáveis no número de vagens em plantas de *Glycine max* tratadas com o regulador vegetal brassinosteróide.

Nº de vagens por planta	R²= 0,98		F (10,19) =125,91		p<0,0000	
	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t (19)	p-level
Intercept			24,38	6,12	3,98	0,00**
Nº grãos/planta	0,90	0,05	0,42	0,03	16,49	0,00**
Nº grãos/vagem	-0,86	0,04	-15,78	0,82	-19,31	0,00**
Massa de 100 grãos	0,07	0,03	0,41	0,18	2,24	0,04*
Nº de nós/planta	0,07	0,03	0,39	0,17	2,27	0,04*

** significativo a 1%; * significativo a 5% pelo teste F.

5 CONCLUSÕES

1- O uso de brassinolídeo nos estádios R₃ e R₆ na concentração de 0,072 mg L⁻¹ incrementou a produtividade de soja (TEC 7022 IPRO) em 25,1%.

2- O brassinolídeo aumenta a força dreno dos grãos e altera a partição de assimilados para o desenvolvimento reprodutivo (número de vagens, número de grãos, massa de grão por planta e produtividade) em detrimento do vegetativo sem comprometimento da absorção de solução do solo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v.22, n.6, p.711-728, 2013.

ANWAR, A.; LIU, Y.; DONG, R.; BAI, L.; YU, X.; LI, Y. The physiological and molecular mechanism of brassinosteroid in response to stress: a review. **Biological Research**, v. 51, n. 46, p. 1-15, 2018.

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.; JÚNIOR, H. D. T.; NEVES, T. G.; CRUVINEL, C. K. L.; SANTOS, P. G. F.; MATOS, F. S. Does benzyladenine application increase soybean productivity? **African Journal of Agricultural Research**, v.9, n.37, p.2799-2804, 2014.

CHAIWANON, J.; WANG, Z. Spatiotemporal Brassinosteroid Signaling and Antagonism with Auxin Pattern Stem Cell Dynamics in *Arabidopsis* Roots. **Current Biology**, v. 25, n. 8, p.1031-1042, 2015.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Brasil: Estimativa de Área Plantada 2019/2020: Setembro 2020, 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 29 de setembro 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistemas de Produção (Embrapa – Soja). Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil 2012 e 2013. Londrina: Embrapa, 2011. 261p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). OECD-FAO Agricultural Outlook 2019-2028 – Special Focus: Latin America. p.1-326, 2019. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/CA6911EN/CA6911EN.pdf>>. Acesso em: 25 de maio 2020.

HAYAT, S.; AHMAND, A. **Brassinosteroids: A Class of Plant Hormone**. 2011.

HUO, W.; LI, B.; KUANG, J.; HE, P.; XU, Z.; WANG, J. Functional characterization of the steroid reductase genes GmDET2a and GmDET2b from Glycine max. **International Journal of Molecular Sciences**, v.19, n.3, p.1-21, 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em: <www.inmet.gov.br/portal>. Acesso em: 31/05/2020.

JUN, L. V.; XUE-FENG, Z.; ANJUM, S. A.; JI-XUAN, S.; YAN, Z.; YU-FENG, D.; ZOHAIB, A.; ALI, I.; YU, X.; XIU-JUAN, H.; SAN-GEN, W. Application of plant growth regulators to *Stipa krylovii* in the Xilin Gol grassland. **Planta Daninha**, v.36, p.1-8, 2018.

KANWAR, M. K.; BAJGUZ, A.; ZHOU, J.; BHARDWAJ, R. Analysis of Brassinosteroids in Plants. **Journal of Plant Growth Regulation**, v.36, p.102-1030, 2017.

MATOS, F. S.; BORGES, L. P.; AMARO, C. L.; OLIVEIRA, D. B.; CARMO, M. S.; TORRES JUNIOR, H. D. **Folha Seca: Introdução à Fisiologia Vegetal**. Curitiba, PR: Editora Appris, 2019.

MITCHELL, J. W.; MANDAVA, N.; WORLEY, J. F.; PLIMMER, J. R.; SMITH, M. V. Brassins – a new family of plant hormones from rape pollen. **Nature**, v.225, p.1065-1066.

NAKAGAWA, A. C. S.; ITOYAMA, H.; ARIYOSHI, Y.; ARIO, N.; TOMITA, Y.; KONDO, Y.; IWAYA-INOUE, M.; ISHIBASHI, Y. Drought stress during soybean seed filling affects storage compounds through regulation of lipid and protein metabolism. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 40, n. 111, p.1-8, 2018.

NIU, J. H.; ANJUM, S. A.; WANG, R.; LI, J. H.; LIU, M. R.; SONG, J. X.; ZOHAIB, A.; LV, J.; WANG, S. G.; ZONG, X. F. Exogenous application of brassinolide can alter morphological and physiological traits of *Leymus chinensis* (Trin.) Tzlev under room and high temperatures. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v.76, p.26-33, 2016.

NOLAN, T. M.; VUKASINOVIC, N.; LIU, D.; RUSSINOVA, E.; YIN, Y. Brassinosteroids: Multidimensional regulators of plant growth, development, and stress responses. **The Plant Cell**, v.32, p.295-318, 2020.

PENG, S.; TAO, P.; XU, F.; WU, A.; HUO, W.; WANG, J. Functional characterization of soybean *Glyma04g39610* as a Brassinosteroid receptor gene and evolutionary analysis of soybean brassinosteroid receptors. **International Journal of Molecular Sciences**, v17, n.897, p.1-23, 2016.

PEREIRA, Y. C.; RODRIGUES, W. S.; LIMA, E. J. A.; SANTOS, L. R.; SILVA, M. H. L.; LOBATO, A. K. S. Brassinosteroids increase electron transport and photosynthesis in soybean plants under water deficit. **Photosynthetica**, v.57, n.1, p.181-191, 2019.

PERES, A.; SOARES, J.; TAVARES, R.; RIGHETTO, G.; ZULLO, MANDAVA, M.; MENOSSI, M. Brassinosteroids, the Sixth Class of Phytohormones: A Molecular View from the Discovery to Homonal Interactions in Plant Development and Stress Adaptation. **International Journal of Molecular Science**, v. 20, n. 2, p.1-33, 2019.

PLANAS-RIVEROLA, A.; GUPTA, A.; BETEGÓN-PUTZE, I.; BOSCH, N.; IBAÑES, M.; CAÑO-DELGADO, A. I. Brassinosteroid signaling in plant development and adaptation to stress. **Development**, v.146, p.1-11, 2019.

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.5-35, 2010.

RYAN, M. G.; OREN, R.; WARING, R. H. Fruiting and sink competition. **Tree Physiology**, v.38, p.1261-1266, 2018.

SCHÜTZ, L.; GATTINGER, A.; MEIER, M.; MÜLLER, A.; BOLLER, T.; MÄDER, P.; MATHIMARAN, N. Improving crop yield and nutrient use efficiency via biofertilization – A global meta-analysis. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p.1-13, 2018.

SONG, L.; CHENG, W.; YAO, Q.; GUO, B.; VALLIYODAN, B.; WANG, Z.; NGUYEN, H. T. Genom-wide transcriptional porfiling for elucidating the effects of brassinosteroids on *Glycine max* during early vegetative development. **Scientific Reports**, v.9, n.1, p.1-14, 2019.

STATSOFT Inc. **STATISTICA** (Sistema de Software de Análise de Dados). Versão 7.1., 2007.

SYSTAT SOFTWARE INC. (SigmaPlot version 10.0), San Jose, California, US, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. A.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6 ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2017.

WEI, Z.; LI, J. Brassinosteroids regulate root growth, development, and symbiosis. **Molecular Plant**, v.9, p.86-100, 2016.

WHITE, A. C.; ROGERS, A.; REES, M.; OSBORNE, C. P. How can we make plants grow faster? A source-sink perspective on growth rate. **Journal of Experimental Botany**, v.67, n.1, p.31-45, 2015.

YIN, W.; DONG, N.; NIU, M.; ZHANG, X.; LI, L.; LIU, J.; LIU, B.; TONG, H. Brassinosteroid-regulated plant growth and development and gene expression in soybean. **The Crop Journal**, p.1-8, 2019.