



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE IPAMERI
Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal



**REDUÇÃO DO ABORTAMENTO DE VAGENS E
PRODUTIVIDADE DE PLANTAS DE SOJA
TRATADAS COM BENZILADENINA**

LARISSA PACHECO BORGES

**M
E
S
T
R
A
D
O**

**Ipameri-GO
2014**

LARISSA PACHECO BORGES

**ABORTAMENTO DE VAGENS E PRODUTIVIDADE DE
PLANTAS DE SOJA TRATADAS COM BENZILADENINA**

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
2014**

Borges, Larissa Pacheco.

Redução do abortamento de vagens e produtividade de plantas de soja tratadas com benziladenina/ Larissa Pacheco Borges – 2014.

27 f. il.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Santos Matos

Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Goiás, Unidade Universitária de Ipameri, 2014.

1. Ciências Agrárias. 2. Agronomia. 3. Produção Vegetal.
I. Título.

DEDICATÓRIA

A minha formação como profissional não poderia ter sido concretizada sem a ajuda de meus amáveis pais Guilherme e Shirley, que no decorrer da minha vida, proporcionaram-me, além de extenso carinho e amor, os conhecimentos da integridade, da perseverança, que me ensinaram a perseguir meu ideal com dedicação e coragem. Por essa razão, gostaria de dedicar e reconhecer à vocês, minha imensa gratidão e sempre amor.

Em especial ao meu querido amor Hilton Junior, que além de me fazer feliz, ajudou-me, durante todo o percurso de minha vida acadêmica e profissional, compreendendo-me e ensinando-me para que eu conquistasse um lugar ao sol; e sempre esteve ao meu lado me dando força, apoio e acreditando na minha capacidade de vencer.

A minha querida irmã Laís Pacheco Borges, a qual amo muito, pelo carinho, paciência, incentivo, por sempre acreditar em mim e permanecer ao meu lado, nos bons e maus momentos.

Com muito amor e carinho,

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus por me amparar nos momentos difíceis, me dar força interior para superar as dificuldades, mostrar os caminho nas horas incertas e me suprir em todas as minhas necessidades.

À Universidade Estadual de Goiás, e ao programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pela oportunidade e aprendizado que foram fundamentais na conquista de meus objetivos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) pela concessão de bolsa de estudos.

Ao grupo da Fisiologia Vegetal, por me receberem tão bem, me ajudarem e participarem deste trabalho. Em especial, aos amigos Mariana, Ricardo, Kássio, Vanessa, Tárík e Priscilla. Amizade construída durante meu curso de mestrado, e que desejo que prevaleça pela vida toda. São pessoas que contribuíram para a execução do meu projeto e cuja participação foi fundamental para a realização deste trabalho. Pela grande amizade, enorme companheirismo e imensa dedicação, meu sincero muito obrigada!

Ao meu orientador Professor Fábio, que é a pessoa em que eu me inspiro desde quando conheci, pela competência, eficiência, sabedoria, comprometimento, exemplo profissional. Agradeço pela orientação, paciência, pelos ensinamentos e dedicação a este e outros projetos que executamos, contribuindo para o meu crescimento profissional.

Aos tios, tias, primos e primas que sempre acreditaram em mim e sempre estiveram do meu lado, dando força e apoio.

Aos meus avós pelo apoio de sempre, pela confiança infinita que depositam em mim e pelo imenso carinho.

Ao meu sogro e minha sogra que sempre acreditaram em mim e sempre me apoiaram.

À meus amigos do mestrado, pelos momentos divididos juntos, pela força, apoio, compreensão que tivemos uns com outros.

À todos os professores da pós-graduação pelo convívio e aprendizado.

À todos aqueles que acreditaram em mim e que direta ou indiretamente, contribuíram para esta imensa felicidade que estou sentindo nesse momento.

À todos vocês, meu muito obrigada!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVO	4
3 MATERIAL E MÉTODOS	5
3.1 Desenho experimental	5
3.2 Variáveis morfológicas	6
3.2.1 Determinação da densidade estomática	6
3.2.2 Área foliar específica (AFE)	6
3.2.3 Área foliar (AF)	7
3.3 Variáveis fisiológicas	7
3.3.1 Pigmentos fotossintéticos e nitrogênio	7
3.4 Variáveis de crescimento	7
3.5 Variáveis produtivas	7
3.6 Delineamento experimental e procedimentos estatísticos	8
4 RESULTADOS	9
5 DISCUSSÃO	14
6 CONCLUSÕES	17
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18

RESUMO

A abscisão de flores e vagens é um fator limitante à produtividade da cultura da soja. A redução do abortamento pode resultar em aumento no número de vagens, e, assim, conduzir a um acréscimo significativo na produtividade de grãos. Objetivou-se com o presente estudo avaliar o efeito da aplicação de benziladenina na redução do abortamento de vagens de plantas de soja. O trabalho foi conduzido na Fazenda Panorama localizada no município de Ipameri, Goiás. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo. Após a análise do solo, foi realizada a adubação e correção do pH de acordo com recomendações técnicas para a cultura. A semeadura da soja Pioneer 98Y12 RR foi realizada no final de novembro, durante o período da estação chuvosa. Foram utilizados cinco tratamentos com 0; 100; 200; 300 e 400 mg L⁻¹ de benziladenina aplicados na fase fenológica R₂, no volume de calda de 200 L ha⁻¹. O experimento foi montado seguindo o delineamento em blocos casualizados com cinco tratamentos e cinco repetições. A parcela experimental foi de 3 x 2 m e cerca de 90 plantas exploradas em espaçamento de 0,5 m entre linhas e 10 plantas por metro linear. A aplicação de benziladenina proporcionou aumento significativo na produtividade da espécie para todas as concentrações utilizadas, em especial, a de 200 mg L⁻¹ com ganho máximo de produtividade em torno de 17%. O aumento da produtividade foi determinado pelo maior número de vagens totais fixadas nas plantas em razão da redução do abortamento nas três posições do dossel (inferior, médio e superior) de plantas de soja. Outros fatores que contribuíram para o aumento da produtividade foram o maior número de sementes por planta, maior peso e diâmetro de sementes, podendo, portanto, a aplicação de benziladenina ser considerada como uma tecnologia promissora de produção para a cultura da soja.

Palavras-chave: Regulador de crescimento; Floração; Rendimento de grãos

ABSTRACT

The abscission of flowers and pods is a limiting factor in the productivity of soybean. The reduction of the abortion may result in increased pods number, and thus lead to a significant increase in grain yield. This study was carried out to evaluate the effect of benzyladenine in the reduction of abortion of soybean pods. The study was conducted at Panorama Farm, located in the municipality of Ipameri, Goiás. The soil of the experimental area was classified as Red Yellow Latosol. After soil analysis, was performed fertilization and pH correction according to technical recommendations for the culture. The soybean planting Pioneer 98Y12 RR was held in late November, during the rainy season. Five treatments were used with 0, 100, 200, 300 and 400 mg L⁻¹ benzyladenine applied to R₂ phenological stage, solution volume of 200 L ha⁻¹. The experiment was conducted following the randomized complete block design with five replications. The experimental plot was 3 x 2 m and about 90 plants operated at distances of 0,5 m between rows and 10 plants per linear meter. The benzyladenine application provided a significant increase in the productivity of all species to the concentrations that were used, in particular, 200 mg L⁻¹ with maximum gain in productivity at around 17%. The increase in productivity was determined more decisively by the largest number of total fixed pods in plants due to the reduction of abortion in the three canopy positions (lower, middle and upper) of soybean plants. Other factors contributing to increased productivity were the highest number of seeds per plant, higher seed weight and diameter and can therefore, the application of benzyladenine be considered as a promising technology for the production of soybean.

Key-words: Growth regulator; Flowering; Grain yield

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de atender a elevada demanda mundial por alimentos vem estimulando o crescimento de setores agrícolas, tendo como meta principal o aumento da produção, especialmente associada ao incremento da produtividade de forma a atingir equilíbrio ambiental com ganhos econômicos e sociais.

Conforme dados da Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO (2009), para a primeira metade do século XXI, há uma estimativa de crescimento da demanda global de alimentos de aproximadamente 70% em função da crescente população mundial, o qual atingirá mais de 9 bilhões em 2050. O crescimento da demanda de alimentos também vem acompanhado da intensa competição de terras agricultáveis entre lavouras de alimentos, culturas para geração de biocombustíveis e outros propósitos industriais. Os produtos mais dinâmicos do agronegócio brasileiro deverão ser o algodão, soja em grão, carne de frango, açúcar, milho e celulose (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU, 2011). Dentre os produtos agrícolas, a soja faz parte do conjunto de atividades agrícolas com maior destaque no mercado mundial e detém uma significativa importância para o suprimento de alimentos à crescente população mundial.

A soja (*Glycine max* (L.) Merr.), é a oleaginosa mais cultivada e consumida no mundo, visto que seus grãos são extremamente utilizados pela agroindústria, para a produção de óleo vegetal e rações para alimentação animal; indústria química e fabricação de alimentos. Recentemente, vem crescendo também o uso como fonte alternativa de biocombustível. O grande incremento na produção mundial de soja pode ser atribuído à diversos fatores, dentre os quais merecem destaque: o elevado teor de óleo (ao redor de 20%) e proteínas (em torno de 40%) de excelentes qualidades nutricionais encontradas no grão (LAZZAROTTO e HIRAKURI, 2011).

Por ser um grão bastante versátil, que compõe diversos produtos e subprodutos, o destaque desta leguminosa deve-se à crescente demanda pelo grão e derivados. As projeções de longo prazo para a soja, no contexto mundial, mostram que, nos próximos dez anos, a demanda total pelo grão deverá crescer 3,2% ao ano, fato este, referente à crescente população mundial, associado ao ascendente poder aquisitivo da população nos países em desenvolvimento, além do aumento no uso de biocombustíveis fabricados a partir do grão, resultando de um ascendente interesse mundial na produção desta leguminosa (AINSWORTH et al., 2012).

O Brasil destaca-se como o segundo maior produtor mundial de soja (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2013), apresentando considerável potencial para expansão de sua produção, no entanto, para Lazzarotto e Hiraçuri (2011), a expansão da área cultivada, não deve ser considerada como única alternativa para aumentar a produção de alimentos, pois, o crescimento contínuo de áreas cultivadas enfrenta desafios ambientais e sociais em função do Código Florestal e crescimento dos centros urbanos. Pressões sociais e políticas, estão limitando a expansão do uso da terra no Brasil, onde é sugerido que o cultivo da soja é uma das causas diretas e indiretas do desmatamento tropical e conseqüentemente, de impactos ambientais como emissão de gases de efeito estufa e perda de biodiversidade (CÂMARA, 2013). Portanto, a fim de atender o aumento da demanda esperado para as próximas décadas, sem expansão insustentável da área de produção, a produtividade da soja deve ser melhorada em ritmo cada vez mais acelerado.

A produtividade da soja pode ser incrementada através da adoção de práticas visando reduzir o abortamento de flores e/ou vagens (PASSOS et al., 2011; CROSBY et al., 1981). A quantidade de flores que originam as vagens até atingirem a maturidade é um fator primordial para a obtenção de elevados rendimentos. Na cultura da soja, as flores são produzidas em abundância, porém, elevado número de flores e de vagens jovens são abortados naturalmente (NONOKAWA et al., 2012). Essa elevada abscisão das estruturas reprodutivas na soja varia de 20 a 82% das flores totais produzidas, o que representa um impacto negativo na produtividade (PETERSON et al., 2005; YASHIMA et al., 2005; CARLSON et al., 1987; CROSBY et al., 1981).

A abscisão em soja pode ocorrer no momento da iniciação do botão floral, durante o desenvolvimento dos órgãos florais, na fertilização, durante o início do estágio pró-embrião, ou a qualquer estágio do desenvolvimento dos cotilédones (PETERSON et al., 2005; YASHIMA et al., 2005). Os principais fatores envolvidos na fixação de flores e vagens de soja são a disponibilidade de nutrientes e de assimilados destinados a essas estruturas reprodutivas, quando em desenvolvimento, assim como a disponibilidade de algumas classes de hormônios (NAGEL et al., 2001).

As inflorescências e vagens em vários estágios de desenvolvimento requerem hormônios, nutrientes e assimilados suficientes durante todo o período de desenvolvimento até atingir a maturidade. Na soja, como em muitas outras espécies de leguminosas o crescimento vegetativo dura até a fase intermediária ou final do período reprodutivo. Portanto, uma forte competição por assimilados e nutrientes entre os órgãos da planta podem levar a uma deficiência destes para as estruturas reprodutivas. O fornecimento insuficiente de fotoassimilados para flores e vagens em desenvolvimento é um fator determinante no

abortamento destas estruturas reprodutivas (NONOKAWA et al., 2012; PASSOS et al., 2011).

Segundo Dario et al. (2005), alguns fatores poderiam proporcionar patamares de produtividade acima dos estabelecidos até o momento. Uma das práticas culturais que propiciariam um melhor desempenho da cultura seria a aplicação de reguladores de crescimento. Greene et al. (2011) relata que os órgãos vegetais podem ser influenciados por reguladores vegetais, de maneira que a morfologia da planta pode ser alterada. De acordo com Passos et al. (2011), poucos trabalhos abordam aspectos fisiológicos da planta de soja relacionados à aplicação de reguladores vegetais.

Os reguladores de crescimento são utilizados em espécies vegetais com várias finalidades. A aplicação de citocinina, especialmente a benziladenina, tem-se mostrado eficiente no retardamento da senescência e amarelecimento de folhas de diversas espécies vegetais (MATOS et al., 2012; COSTA E SILVA et al., 2012; GREENE et al., 2011). Em outras espécies, a benziladenina incrementa a atividade do meristema de inflorescência, promove a iniciação floral e a feminização de flores (PAN e XU, 2011; GHOSH et al., 2010). Essa inconstância nas respostas de diferentes espécies ao mesmo regulador de crescimento é comum. O regulador pode acelerar determinado processo em uma espécie e retardar ou não influenciar o mesmo processo em outra espécie.

Na cultura da soja, a benziladenina exógena parece estar relacionada com a diminuição do abortamento de flores e vagens. Alguns estudos têm mostrado uma forte tendência tecnológica para o uso de citocininas sintéticas, especialmente benziladenina, aplicadas via foliar, como forma de manejo para aumentar a produtividade da soja (NONOKAWA et al., 2012; PASSOS et al., 2011; YASHIMA et al., 2005; NAGEL et al., 2001; CARLSON et al., 1987; CROSBY et al., 1981).

A determinação do número de flores, porcentagem de abortamento e queda das estruturas reprodutivas (flores, legumes) é importante para a compreensão de como a planta estabelece sua produção final (NAGEL et al., 2001). A redução do abortamento pode resultar no aumento do número de vagens e sementes, e assim conduzir a um acréscimo na produtividade de grãos (NONOKAWA et al., 2012). Desta forma, estudos com a finalidade de aumentar a produtividade na cultura da soja, tem merecido, nos últimos anos, uma maior atenção por parte dos pesquisadores, a fim de atender às tendências e perspectivas de crescente aumento na demanda mundial pelo grão.

2 OBJETIVO

Objetivou-se com o presente trabalho avaliar o efeito da aplicação de benziladenina no abortamento de vagens de plantas de soja.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Desenho experimental

O trabalho foi conduzido na Fazenda Panorama 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. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, com textura argilosa (380 g kg⁻¹ de argila), com treze anos de cultivo, considerado solo de alta fertilidade, constatado por sua análise química: pH em água - 6,1; pH em CaCl₂ - 5,3; P (Mehlich-1) - 10,2 mg dm⁻³; K (Mehlich-1) - 65 mg dm⁻³; Ca²⁺ (KCl) - 2,2 cmolc dm⁻³; Mg²⁺ (KCl) - 1,0 cmolc dm⁻³; H+Al (tampão SMP) - 2,6 cmolc dm⁻³; T - 3,40 cmolc dm⁻³; MO - 34g kg⁻¹; e V - 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 120 Kg ha⁻¹ de Cloreto de Potássio (KCl) à lanço aos 10 dias antes da semeadura. A soja Pioneer 98Y12 RR foi semeada em de novembro de 2012, com 350 Kg ha⁻¹ de adubo do formulado 04-30-10. As sementes foram submetidas ao tratamento com Standak Top e à inoculação de *Bradyrhizobium japonicum*, na proporção mínima de 12x10⁵ células da bactéria por semente. Os tratos culturais foram a aplicação do herbicida Crucial de princípio ativo Glifosato, quarenta dias após a emergência, adicionando a esta calda, micronutrientes como, boro, manganês, molibdênio e cobalto via foliar. Foram realizadas três aplicações de fungicidas (Approach Prima, Fox e Horos) somadas a aplicações de cobre e zinco, seguindo a recomendação determinada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa (2011). Os inseticidas, Rimon, Nomolt, Prêmio, 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 benziladenina, pesando-se 3 g de benziladenina que foi dissolvida em 10 mL de solução 1 N de NaOH, 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, 100, 200, 300 e 400 mg L⁻¹ de benziladenina. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, volume de calda de 200 L ha⁻¹, com cinco repetições. A aplicação do regulador foi realizada com 45 dias após a emergência, na fase em que a planta se encontrava no estágio de floração

plena, correspondente a fase fenológica R₂. Buscou-se o máximo de uniformidade durante a aplicação, através da pulverização de benziladenina na área foliar de plantas de soja, atingindo as flores, para tal, utilizou-se uma válvula dosadora acoplada a um pulverizador costal. A parcela experimental foi de 3 x 2 m em espaçamento de 0,5 m entre linhas e 10 plantas por metro linear.

As variáveis: densidade estomática, área foliar específica, área foliar, concentrações foliares de clorofilas, carotenoides, nitrogênio foliar total, número de ramos, altura de planta, diâmetro do caule e número de vagens no terço superior, médio e inferior, foram mensuradas quando as vagens se apresentavam completamente desenvolvidas com grãos perceptíveis ao tato a 10% da granação, correspondente ao estágio R_{5.1}.

3.2 Variáveis morfológicas

3.2.1 Determinação da densidade estomática

Foram retiradas réplicas da superfície adaxial e abaxial das folhas, com esmalte incolor para unhas na região do terço médio de folhas previamente desidratadas. A contagem de estômatos foi feita na réplica com auxílio de microscópio óptico munido com câmara clara. A densidade estomática foi determinada através da contagem de estômatos situada em uma área de 1 mm², obtendo-se o número de estômatos/área (JADRNÁ et al., 2009). Foram analisadas cinco réplicas da superfície adaxial e cinco réplicas da superfície abaxial de cada repetição para a determinação da densidade estomática.

3.2.2 Área foliar específica (AFE)

Foram retirados seis discos foliares de 12 mm de diâmetro de folhas totalmente expandidas que posteriormente foram secos em estufa a 70°C por 72 h, para determinação da massa seca. A AFE foi obtida através da equação proposta por Radford (2013).

$$AFE = \frac{A}{MS}$$

AFE= Área foliar específica (m² kg⁻¹)

A= Área foliar (m²)

MS= Massa seca do disco (Kg)

3.2.3 Área foliar (AF)

A área foliar foi determinada seguindo equação proposta por Adami et al. (2008). Para tal, utilizou-se de trena graduada em mm para obtenção do comprimento e largura das folhas.

$$AF = 0,7104 (C \times L)$$

AF= Área Foliar (cm²)

C= Comprimento da Folha (cm)

L= Largura da Folha (cm)

3.3 Variáveis fisiológicas

3.3.1 Pigmentos fotossintéticos e nitrogênio

Foram retirados dois discos foliares de cada repetição com 6 mm de diâmetro e colocados em vidros contendo dimetilsulfóxido (DMSO). Posteriormente foi feita extração em banho-maria à 65°C por dez horas. Alíquotas foram retiradas para leitura espectrofotométrica a 480, 649 e 665nm. O conteúdo de clorofila *a* (Cl *a*), clorofila *b* (Cl *b*) e carotenoides totais (Car) foram determinados seguindo a equação proposta por Wellburn (1994). Amostras de folhas totalmente expandidas foram coletadas e determinada a concentração de N total segundo Cataldo et al. (1974, 1975).

3.4 Variáveis de crescimento

O número de ramos foi obtido através da contagem de todas as ramificações a partir do ramo principal. A altura de planta foi determinada utilizando-se régua graduada, e o diâmetro do caule foi mensurado na altura do colo da planta com o auxílio de um paquímetro digital.

3.5 Variáveis produtivas

Para a determinação do abortamento de vagens, procedeu-se a contagem do número de vagens nas três posições do dossel (inferior, médio e superior) de plantas de soja na fase reprodutiva R_{5.1} e no ponto de maturação de colheita correspondente a fase reprodutiva R₉. A diferença de vagens obtida pela contagem nestas duas fases correspondiam ao número de

vagens abortadas no terço inferior, médio e superior. Foram mensurados na fase reprodutiva R₉, o número de sementes por planta, peso de 100 sementes, teor de óleo, diâmetro da semente e a produtividade, sendo o peso de 100 sementes e produtividade ajustadas a umidade de 13%. O percentual de óleo da semente de soja foi determinado pelo método da Ressonância Magnética Nuclear (Oxford Instruments), na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

3.6 Delineamento experimental e procedimentos estatísticos

Os dados foram submetidos a análise variância e regressão utilizando o software SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2011).

4 RESULTADOS

A análise de variância para todas as variáveis analisadas encontram-se na Tabela 1, 2 e 3. A análise de variância mostra que a aplicação de benziladenina, sobre as características altura da planta, diâmetro do caule, nitrogênio, carotenoides, número de ramos totais e teor de óleo na semente não apresentou efeito significativo (Tabela 1). As demais características foram afetadas pela benziladenina (Tabela 2 e 3).

Tabela 1. Resumo da ANOVA das variáveis altura de Planta (AP), diâmetro do caule (DC), nitrogênio (N), carotenoides (Car), número de ramos totais (NRT) e teor de óleo na semente (TOS), UEG, Ipameri-GO.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios					
		AP (cm)	DC (mm)	N (g Kg ⁻¹)	Car	NRT	TOS
Blocos	4	9,67	0,30	27,56	0,01	1,36	2,80
Concentrações	4	27,85 ^{ns}	0,78 ^{ns}	15,64 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,15 ^{ns}
Resíduo	16	13,20	0,61	16,36	0,07	1,28	0,12
CV (%)		3,80	8,23	8,81	15,06	7,74	1,63

^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 2. Resumo da ANOVA das variáveis clorofila total (Cl total), diâmetro da semente (DS), número de estômato na superfície adaxial da folha (EAd), número de estômato na superfície abaxial da folha (EAb), área foliar (AF) e área foliar específica (AFE), UEG, Ipameri-GO.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios					
		Cl total	DS (mm)	EAd (1mm ²)	EAb (1mm ²)	AF (cm ²)	AFE
Blocos	4	0,46	0,003	31,61	606,07	26,41	0,01
Concentrações	4	1,52*	0,06*	109,39*	2456,65**	55,30**	0,03**
Resíduo	16	0,35	0,02	24,54	437,83	7,42	0,01
CV (%)		7,99	2,43	7,29	15,20	5,30	2,75

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; **significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 3. Resumo da ANOVA das variáveis abortamento de vagens do terço inferior (ABI), abortamento de vagens do terço médio (ABM), abortamento de vagens do terço superior (ABS), número de sementes por planta (NSP), peso de 100 sementes (P100S) e produtividade (PROD.), UEG, Ipameri-GO.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios					
		ABI	ABM	ABS	NSP	P100S (g)	PROD. (Kg ha ⁻¹)
Blocos	4	2,12	64,98	4,08	70,42	0,05	1942,41
Concentrações	4	35,97**	211,71*	202,78**	591,33**	0,64**	347355,83**
Resíduo	16	3,87	51,64	24,79	33,18	0,12	1326,44
CV (%)		20,59	23,27	17,68	4,07	2,50	2,75

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; **significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Os resultados a seguir demonstram que a aplicação de benziladenina na fase de floração plena da soja, proporcionou aumento significativo na produtividade da espécie para todas as concentrações utilizadas, com ponto de máximo na concentração de 209 mg L⁻¹, correspondente ao ganho máximo de produtividade em torno de 17% (Figura 1 d). O aumento da produtividade foi determinado mais decisivamente pelo maior número de vagens totais fixadas nas plantas em razão da redução do abortamento nas três posições do dossel (inferior, médio e superior) de plantas de soja, como mostrados na Figura 1 a, b e c.

O terço médio e superior do dossel da soja foram os que mais contribuíram para a produção de grãos, devido a maior presença de estruturas reprodutivas (vagens). Porém, a redução do abortamento em termos proporcionais foi maior no terço inferior das plantas apresentando redução de 47,7% de vagens abortadas na concentração de 237 mg L⁻¹, em relação a testemunha, resultando em um aumento de 5,5 vagens por planta. No terço médio e superior do dossel a redução do abortamento de vagens, proporcionou um acréscimo de 23,9% (7,9 vagens por planta) e 27,7% (8,9 vagens por planta) respectivamente. O ponto máximo correspondente as concentrações de benziladenina no terço médio e superior foram respectivamente 199 mg L⁻¹ e 173 mg L⁻¹.

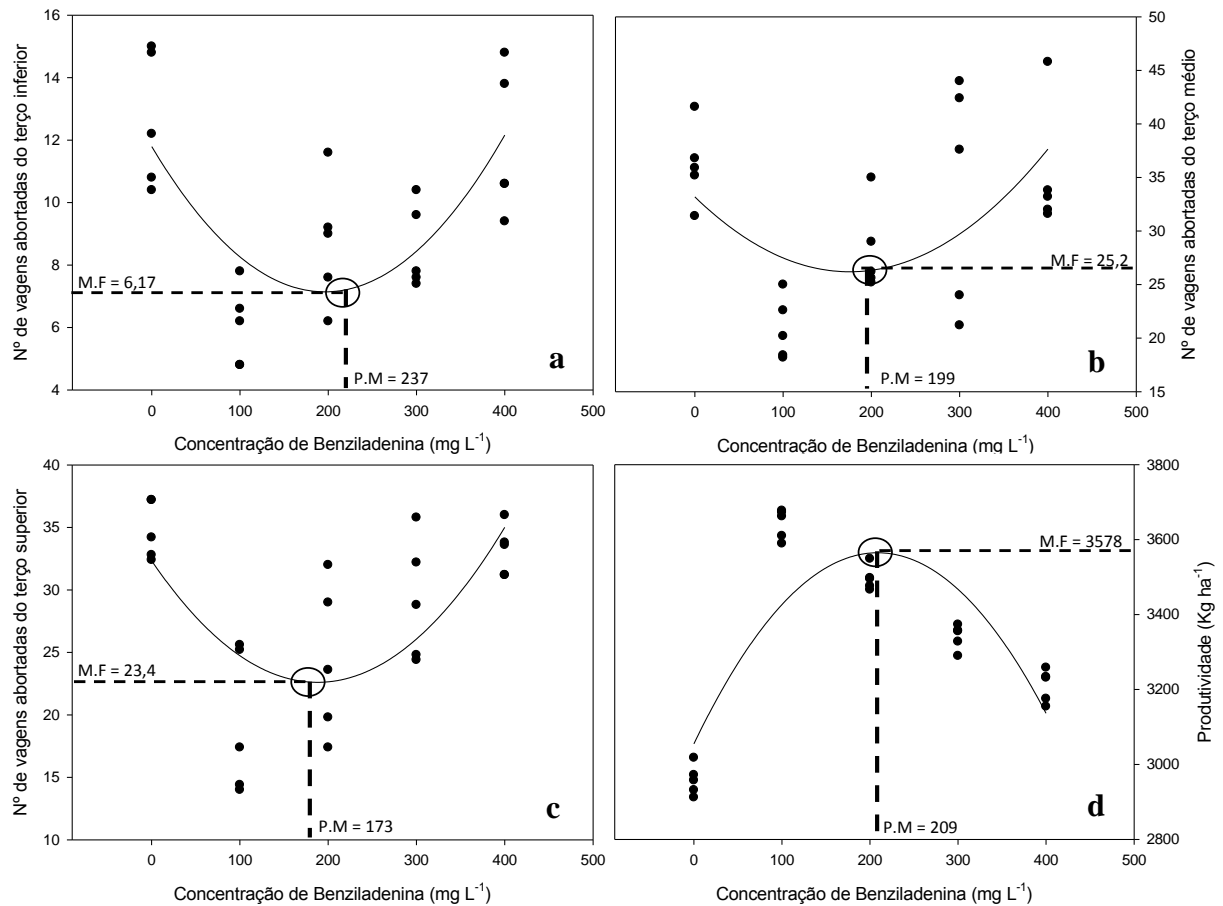


Figura 1. Equações de regressão para abortamento de vagens do terço inferior ($Y = 11,7931 - 0,0474x + 0,0001x^2$, $R^2 = 0,95^{**}$), abortamento de vagens do terço médio ($Y = 33,1869 - 0,0797x + 0,0002x^2$, $R^2 = 0,95^*$), abortamento de vagens do terço superior ($Y = 32,3383 - 0,1036x + 0,0003x^2$, $R^2 = 0,96^{**}$) e produtividade por hectare ($Y = 3055,0584 + 4,8854x - 0,0117x^2$, $R^2 = 0,99^{**}$) de plantas de soja tratadas com diferentes concentrações de benziladenina.

Os dados referentes ao diâmetro da semente, número de sementes por planta, peso de 100 sementes e clorofila total foram ajustados utilizando o modelo quadrático de regressão. Os resultados representados pelo diâmetro da semente, mostram que houve um aumento significativo em todas as concentrações utilizadas em relação a testemunha, apresentando um ponto máximo correspondente a concentração de 281 mg L⁻¹ com um acréscimo de 5% no diâmetro da semente (Figura 2 a). Quanto ao número de sementes por planta, peso de 100 sementes e clorofila total, os pontos máximos foram verificados com as concentrações de 252 mg L⁻¹, 231 mg L⁻¹ e 211 mg L⁻¹, com contribuições de 20%, 13% e 14% respectivamente, decrescendo nas dosagens mais elevadas (Figura 2 b, c e d).

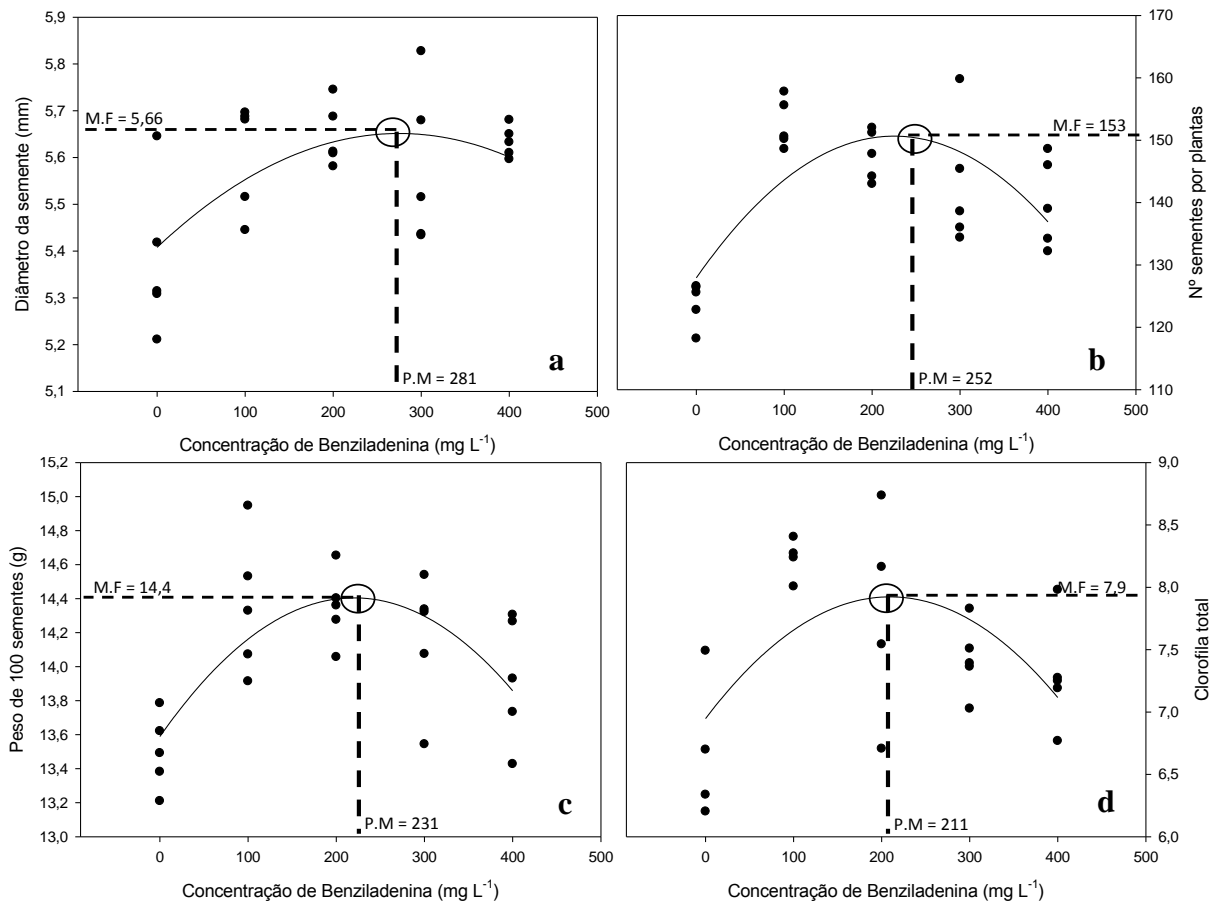


Figura 2. Equações de regressão para diâmetro de sementes ($Y = 5,4080 + 0,0018x - 0,0000032x^2$, $R^2 = 0,99^*$), número de sementes por planta ($Y = 127,9269 + 0,2020x - 0,0004x^2$, $R^2 = 0,99^{**}$), peso de 100 sementes ($Y = 13,5888 + 0,0074x - 0,000016x^2$, $R^2 = 0,99^{**}$) e clorofila total ($Y = 6,9474 + 0,0093x - 0,000022x^2$, $R^2 = 0,99^*$) de plantas de soja tratadas com diferentes concentrações de benziladenina.

O número de estômatos da superfície adaxial e abaxial da folha, área foliar e área foliar específica foram descritos por modelos quadráticos representados na Figura 3. O número de estômatos da superfície adaxial e abaxial apresentaram significativa variação com a aplicação de benziladenina. Em média, estas variáveis apresentaram acréscimo de 9 e 36% respectivamente, quando a testemunha é comparada com o ponto máximo correspondente a 174 e 240 mg L⁻¹ (Figura 3 a e b). Variação na expansão foliar também foi verificada com o aumento das concentrações de benziladenina até a dosagem de 181 mg L⁻¹, com ganho máximo de 14%, decrescendo com concentrações mais elevadas (Figura 3 c). A área foliar específica apresentou diferenças significativas com variação das concentrações de benziladenina, sendo que o maior resultado foi encontrado com a dosagem de 250 mg L⁻¹, variando em média de 7% em relação a testemunha (Figura 3 d).

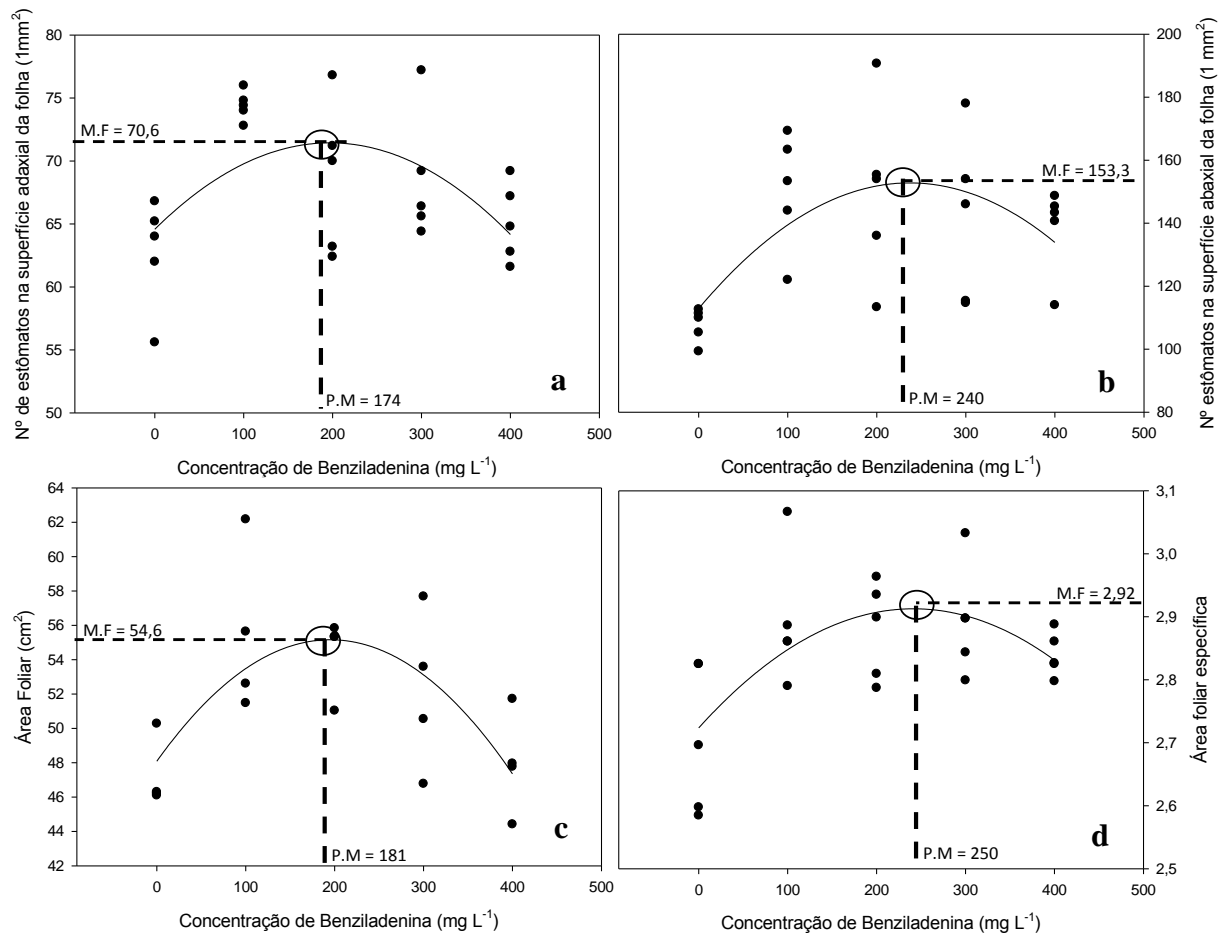


Figura 3. Equações de regressão para número de estômatos da superfície adaxial da folha ($Y = 64,5806 + 0,0696x - 0,0002x^2$, $R^2 = 0,99^*$), número de estômatos da superfície abaxial da folha ($Y = 112,8838 + 0,3367x - 0,0007x^2$, $R^2 = 0,98^{**}$), área foliar ($Y = 48,0906 + 0,0725x - 0,0002x^2$, $R^2 = 0,99^*$), área foliar específica ($Y = 2,7236 + 0,0016x - 0,0000032x^2$, $R^2 = 0,99^{**}$) de plantas de soja tratadas com diferentes concentrações de benziladenina.

5 DISCUSSÃO

As respostas de produtividade para a utilização de benziladenina indicam fortemente a importância de citocininas para a soja. As perdas de produtividade na cultura da soja são, principalmente, devido ao aumento da taxa de abortamento de vagens, resultando em menor produção de grãos por unidade de área.

A aplicação de benziladenina durante a floração é uma eficaz alternativa para aumentar produção de sementes de soja cultivadas em campo. Frutos de soja com até 2 cm de comprimento são muito propensos a abscisão. Wiebold et al. (1981), relataram que 87% de abscisão total de vagens ocorreu antes que os frutos atingissem 2 cm de comprimento, em 11 cultivares de soja. Nonokawa et al. (2007), constataram em seu trabalho que um menor número de flores e vagens foi obtido quando a aplicação foi realizada antes da antese, enquanto que aplicando cerca de 7 dias após a antese obteve-se um aumento significativo no percentual de fixação das estruturas reprodutivas na soja e, conseqüentemente, no rendimento de grãos, havendo uma significativa redução no número de vagens com 14 dias após a antese.

Como um todo, os resultados indicam que a aplicação de benziladenina durante a floração das plantas de soja, resultou em aumento do número de vagens fixadas e conseqüente incremento no número total de grãos por planta. A maior produtividade ocorreu em razão da redução do abortamento nos três estratos do dossel (inferior, médio e superior) de plantas de soja. O terço médio e superior foram os que mais contribuíram para a produção de grãos, devido a maior presença de estruturas reprodutivas (vagens). Porém, a redução do abortamento em termos proporcionais foi maior no terço inferior. O aumento no número de vagens e produção de sementes em resposta aos tratamentos com benziladenina fornece suporte para a hipótese de que a baixa disponibilidade de citocinina limita o potencial produtivo de plantas de soja.

Os níveis de citocinina endógeno no xilema da soja são altos no início da antese e decrescem com a progressão do florescimento (CARLSON et al., 1987). Sugere-se que a aplicação de benziladenina tenha elevado os níveis endógenos do hormônio, redirecionando o movimento de assimilados na planta, aumentando a força dreno das estruturas reprodutivas. O fortalecimento do dreno intensifica o descarregamento de assimilados e incrementa o potencial das fontes em produzirem assimilados. As fontes tendem a exportar assimilados para os drenos mais próximos e, portanto, na fase vegetativa as folhas do terço inferior exportam assimilados para o sistema radicular. No estágio reprodutivo, aquelas folhas precisam exportar assimilados para o sistema radicular e vagens em desenvolvimento, e como

são folhas mais velhas, a redistribuição de fotoassimilados é menor e possivelmente a interceptação de luz é reduzida, restando baixa disponibilidade de assimilados para ambos os órgãos e, assim maior abortamento de vagens nesta posição da planta. O aumento da força dreno dos órgãos reprodutivos a partir da aplicação de benziladenina, possivelmente contribuiu para maior disponibilidade de assimilados para as vagens do terço inferior, resultando em menor abortamento. Nagel et al. (2001), pressupôs, em seu experimento, através de observações preliminares, que plantas tratadas com benziladenina geralmente apresentavam sistemas radiculares menores, pois, notava que a murchidão das plantas de soja durante o calor do dia era mais aparente naquelas tratadas com benziladenina do que nas plantas controle.

A aplicação de benziladenina proporcionou aumento significativo no peso médio das sementes e no seu diâmetro. Resultados coincidentes foram observados por autores que utilizaram citocininas sintéticas em soja (PASSOS et al., 2011; CARLSON et al., 1987). Esses resultados podem ter ocorrido em razão do acúmulo de matéria seca, no qual se inicia nas partes vegetativas da planta, porém, entre R₃ e R₅, há translocação gradativa para os legumes e grãos em formação (PASSOS et al., 2011). Nessa situação, a aplicação de citocininas pode aumentar a força de dreno para esses grãos e incrementar o peso e diâmetro.

O incremento da produtividade de plantas de soja tratadas com benziladenina é em parte também explicada por mudanças morfo-anatômicas na folha. As variações na expansão da área foliar, área foliar específica, síntese de pigmentos fotossintéticos e aumento no número total de estômatos, são indícios que evidenciam alterações na captação de energia luminosa e, possivelmente, maior atividade fotossintética no dossel de plantas de soja, e que podem estar associados com as diferenças significativas no número de vagens e, também com o número de sementes.

A maior área foliar específica aliada a menor espessura foliar, pode ter contribuído para o aumento da transmitância da radiação solar ao longo do dossel, proporcionando maior disponibilidade de luz para as folhas baixas, e desta forma, maior fotossíntese destas folhas e da planta como um todo. Este fato pode explicar também, o menor abortamento de vagens ocorrido no terço inferior das plantas de soja.

Um importante papel das citocininas é o de promover a expansão foliar. Assim qualquer variação positiva na área foliar aumenta a formação de fotoassimilados necessários para o enchimento de grãos, proporcionando um aumento significativo na produtividade. A citocinina regula também, entre outros fatores, a síntese dos pigmentos e proteínas fotossintéticas. Nos cloroplastos, a citocinina influencia na organização básica dos componentes, mantém a integridade do aparelho fotossintético e podem interferir na síntese

de clorofilas. Esses fatos podem influenciar diretamente o balanço da fotossíntese, o que resulta em maior produção de fotoassimilados. Além da maior produção de fotoassimilados, pela maior taxa fotossintética mediante o aumento da área foliar e dos teores de clorofila, é importante a utilização dessas reservas nos órgãos de interesse econômico, que no caso da soja, são os grãos.

O elevado número de estômatos na superfície abaxial e adaxial de folhas de soja, obtidos com a aplicação de benziladenina, podem ter maximizado as trocas gasosas e disponibilizado maior CO_2 no interior dos espaços aéreos foliares e, claro, tendo um efeito sobre a fotossíntese e a produtividade. Evidentemente, todas as mudanças morfo-anatômicas na folha, contribuíram para otimização da fotossíntese, acarretando em aumento significativo no número de vagens, sementes e por fim, na produtividade.

A aplicação de citocininas sintéticas, especialmente benziladenina é uma prática promissora de manejo da cultura da soja por promover incrementos significativos de produtividade, sendo uma forma de diminuir a abscisão de vagens e, conseqüentemente, elevar o rendimento. No entanto, estudos posteriores com outros materiais de soja e análise da viabilidade econômica da utilização do regulador são necessários para validar a prática de manejo.

6 CONCLUSÕES

A aplicação de benziladenina, reduziu o abortamento de vagens no terço inferior, médio e superior do dossel de plantas de soja, proporcionou aumento significativo no diâmetro, no número de sementes e no peso médio das sementes e, desta forma, aumentou a produtividade da cultura, com o melhor resultado obtido na concentração de 209 mg L⁻¹.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMI, M.; HASTENREITER, F. A.; FLUMIGNAN, D. L.; FARIA, R. T. Estimativa de área de folíolos de soja usando imagens digitais e dimensões foliares. **Bragantia**, v.67, n.4, p.1053-1058, 2008.
- AINSWORTH, E. A.; YENDREK, C. R.; SKONECZKA, J. A.; LONG, S. P. Accelerating yield potential in soybean: potential targets for biotechnological improvement. **Plant, Cell and Environment**, v.35, n.1, p.38-52, 2012.
- CÂMARA, J. B. D. Governança ambiental no Brasil: ecos do passado. **Revista de Sociologia e Política**, v.21, n.46, p.147-163, 2013.
- CARLSON, D. R.; DYER, D. J.; COTTERMAN, C. D.; DURLEY, R. C. The Physiological Basis for Cytokinin Induced Increases in Pod Set in IX93-100 Soybeans. **Plant Production Science**, v.84, n.2, p.233-239, 1987.
- CATALDO, D. A.; HAROON, M.; SCHRADER, L. E.; YOUNGS, V. L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Communications in Soil Science**, v.6, n.1, p.71-80, 1975.
- CATALDO, D. A.; SCHRADER, L. E.; YOUNGS, V. L. Analysis by digestion and colorimetric assay of total nitrogen in plant tissues high in nitrate. **Crop Science**, v.14, n.6, p.854-856, 1974.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. ACOMPANHAMENTO DE SAFRA BRASILEIRA (CONAB): grãos, sexto levantamento. 2013. **Disponível em:** <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_03_07_10_39_19_levantamento_safras_graos_6.pdf>. Acesso em: 02 de jun. 2013.
- COSTA E SILVA, A. T. V.; NEVES, T. G.; ZUCCHI, M. R.; ROCHA, E. C.; MATOS, F. S. Avaliação da senescência foliar de plantas de *Jatropha curcas* L. submetidas a doses de benziladenina. **Revista Agrotecnologia**, v.3, n.1, p.01-19, 2012.
- CROSBY, K. E.; AUNG, L. H.; BUSS, G. R. Influence of 6-Benzylaminopurine on Fruit-Set and Seed Development in Two Soybean, *Glycine max* (L.) Merr. Genotypes. **Plant Production Science**, v.68, n.5, p.985-988, 1981.
- DARIO, G. J. A.; MATIN, T. N.; NETO, D. D.; MANFRON, P. A.; BONNECARRÈRE, R. A. G.; CRESPO, P. E. N. Influência do uso de fitoregulador no crescimento da soja. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, v.12, n.1, p.63-70, 2005.
- 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 OF THE UNITED NATIONS (FAO). How to Feed the World in 2050. 2009. **Disponível em:** <<http://www.foresightfordevelopment.org/sobipro/55/1004-how-to-feed-the-world-in-2050>>. Acesso em: 09 de nov. 2013.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

GHOSH, A.; CHIKARA, J.; CHAUDHARY, D.; PRAKASH, A.; BORICHA, G.; ZALA, A. Paclobutrazol arrests vegetative growth and unveils unexpressed yield potential of *Jatropha curcas* L. **Journal of Plant Growth Regulation**, v.29, n.3, p.307-315, 2010.

GREENE, D. W.; SCHUPP, J. R.; WINZELER, H. E. Effect of Abscisic Acid and Benzyladenine on Fruit Set and Fruit Quality of Apples. **Hortscience**, v.46, n.4, p.604-609, 2011.

JADRNÁ, P.; KOBZA, F.; PLAVCOVÁ, O. Polyploidization of *Pelargonium x hortorum* L. H. Bailey in greenhouse conditions. **Horticultural Science**, v.36, n.1, p.31-37, 2009.

LAZZAROTTO, J. J.; HIRAKURI, M. H. Evolução e perspectivas de desempenho econômico associadas com a produção de soja nos contextos mundial brasileiro. Londrina: Embrapa Soja, **Documentos**, 319, p.46, 2011.

MATOS, F. S.; OLIVERIA, L. R.; FREITAS, R. G.; EVARISTO, A. B.; MISSIO, R.F.; CANO, M. A. O.; DIAS, L. A. S. Physiological characterization of leaf senescence of *Jatropha curcas* L. populations. **Biomass and Bioenergy**, v.45, n.10, p.57-64, 2012.

NAGEL, L.; BREWSTER, R.; RIEDELL, W. E.; REESE, R. N. Cytokinin Regulation of Flower and Pod Set in Soybeans (*Glycine max* (L.) Merr.). **Annals of Botany Company**, v.88, n.1, p.27-31, 2001.

NONOKAWA, K.; KOKUBUN, M.; NAKAJIMA, T.; NAKAMURA, T.; YOSHIDA. Roles of Auxin and Cytokinin in Soybean Pod Setting. **Plant Production Science**, v.10, n.2, p.199-206, 2007.

NONOKAWA, K.; NAKAJIMA, T.; NAKAMURA, T.; KOKUBUN, M. Effect of Synthetic Cytokinin Application on Pod Setting of Individual Florets within Raceme in Soybean. **Plant Production Science**, v.15, n.2, p.79-81, 2012.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Brasil Projeções do Agronegócio. In: OJIMA, R. As dimensões demográficas das mudanças climáticas: cenários de mudança do clima e as tendências do crescimento populacional. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v.28, n.2, p.389-403, 2011.

PAN, Z. B.; XU, Z. F. Benzyladenine Treatment Significantly Increases the Seed Yield of the Biofuel Plant *Jatropha curcas*. **Journal Plant Growth Regulation**, v.30, n.2, p.166-174, 2011.

PASSOS, A. M. A.; REZENDE, P. M.; ALVARENGA, A. A.; BALIZA, D. P.; CARVALHO, E. R.; ALCANTRA, H. P. Yield Per Plant And Other Characteristics of Soybean Plants Treated With Kinetin And Potassium Nitrate. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.5, p.965-972, 2011.

PETERSON, C. M.; WILLIAMS, J. C.; KUANG, A. Increased pod set of determinate cultivars of soybean *Glycine max* with 6-benzylaminopurine. In: YASHIMA, Y.; KAIHATSU, A.; NAKAJIMA, T.; KOKUBUM, M. Effects of Source / Sink Ratio and

Cytokinin Application on Pod Set in Soybean. **Plant Production Science**, v.8, n.3, p.139-144, 2005.

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.

RADFORD, P. J. Growth analysis formulae: their use and abuse. In: NAKAZONO, E. M.; COSTA, M. C.; FUTATSUGI, K.; PAULILO, M. T. S. Análise comparativa de crescimento entre genótipos de pimenta cultivados em casa de vegetação. **Bioscience Journal**, v.29, n.1, p.125-131, 2013.

WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of Plant Physiology**, v.144, n.3, p.307-313, 1994.

WIEBOLD, W.J.; ASHLEY, D.A.; Reproductive abscission levels and patterns for eleven determinate soybean cultivars. **Agronomy Journal**, Madison, v.37, n.1, p.43-46, 1981.

YASHIMA, Y.; KAIHATSU, A.; NAKAJIMA, T.; KOKUBUM, M. Effects of Source / Sink Ratio and Cytokinin Application on Pod Set in Soybean. **Plant Production Science**, v.8, n.2, p.139-144, 2005.