**Universidade de São Paulo**
**Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**

# Uso de reguladores de crescimento na cultura de soja

**Ellen Mayara Alves Cabral**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestra em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba**
**2019**

**Ellen Mayara Alves Cabral**
**Engenheira Agrônoma**

# Uso de reguladores de crescimento na cultura de soja

Orientador:
Prof. Dr. **DURVAL DOURADO NETO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestra em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba**
**2019**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**
**DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Cabral, Ellen Mayara Alves

Uso de reguladores de crescimento na cultura de soja / Ellen Mayara Alves Cabral. - - Piracicaba, 2019.

72 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. *Glycine max* 2. Herbicida 3. Hormônio 4. Citocinina I. Título

# DEDICATÓRIA

Aos meus pais Nilson e Nely que sempre me encorajaram a acreditar nos meus sonhos e ir em busca deles.

**Dedico**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço:

A Deus em primeiro lugar, por ter me dado forças para superar os obstáculos e ir em busca dos meus sonhos e alcança-los;

Aos meus pais, Nilson e Nely e meus irmãos, Elida, Evertom, Érica e Vicente Henrique por não medirem esforços para me apoiar, acalmar, aconselhar e serem meu porto seguro em todos os caminhos que decidi trilhar;

Ao meu namorado, Pedro Henrique pelo carinho, amor, aconselhamento, apoio incondicional e compreensão nos diversos momentos de ausência;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado;

Ao meu orientador Prof. Dr. Durval Dourado Neto por estar sempre disposto a orientar, ensinar e corrigir com toda calma e paciência;

A Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia pela oportunidade de realizar este sonho;

A Cooperativa Agropecuária do Alto Paranaíba (COOPADAP) e ao Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM) pela disponibilidade da área experimental e seus funcionários;

Aos professores. Dr. Evandro Binotto Fagan e Dr. Luís Henrique Soares pelo auxilio na condução do experimento e correções da dissertação;

Aos meus amigos do Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas (NUFEP), em especial a Walquíria Fernanda, Layane Laura, Isabella Sabrina, Nathália Alves, Leandra Larissa, Leidyanne Godinho, Henrique Carneiro, Larissa Bessa, Camila Gurgel, Bruno José, Izabel Cristina, Ana Grabriela, Marina Rodrigues, Saulo Jooma, Felipe Antônio, José Gabriel, Fulgêncio Bontempo, Mauro Gonçalves e Pedro Henrique pelo auxilio na condução dos experimentos, avaliações e analises das amostras;

A Walquíria Fernanda e Isabella Sabrina pela ajuda e paciência nas análises estatísticas;

A Isabella Sabrina, Mayara Rodrigues, Marcela Santana e Walquíria Fernanda pelo apoio, companheirismo e hospedagem em Piracicaba;

Aos amigos do Laboratório Multiusuário pelos momentos de companheirismo e descontração ao longo destes dois anos;

A secretaria do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Luciane Toledo pelo carinho e paciência em sanar todas as dúvidas;

Enfim, a todos aqueles que de alguma forma contribuíram direta ou indiretamente, para concretização deste trabalho, muito obrigada!

# SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS ..... 10
LISTA DE TABELAS ..... 11
LISTA DE ABREVIATURAS ..... 13
1. INTRODUÇÃO ..... 15
2. REVISÃO DE LITERATURA ..... 17
2.1. Aspectos morfológicos da cultura de soja ..... 17
2.2. Aspectos fisiológicos da cultura de soja ..... 18
2.3. Duração do ciclo da cultura de soja ..... 19
2.4. Uso de herbicidas em subdose para controlar crescimento de soja ..... 21
2.4.1. Herbicidas ..... 23
2.4.1.1. Inibidores da Protox ..... 23
2.4.1.2. Inibidores da ALS ..... 24
2.4.1.3. Mimetizadores de auxina ..... 25
2.4.2. Citocinina ..... 26
2.5. Estresse oxidativo ..... 28
3. MATERIAL E MÉTODOS ..... 31
3.1. Localização e características da área experimental ..... 31
3.2. Primeiro ano de experimentação ..... 31
3.2.1. Caracterização do experimento ..... 31
3.2.2. Instalação e condução do experimento ..... 32
3.3. Segundo ano de experimentação ..... 32
3.3.1. Caracterização do experimento ..... 32
3.3.2. Instalação e condução do experimento ..... 33
3.4. Avaliações ..... 34
3.4.1. Avaliações bioquímicas ..... 34
3.4.1.1. Obtenção do extrato vegetal ..... 34
3.4.1.2. Conteúdo de proteína na folha ..... 35
3.4.1.3. Superóxido dismutase ..... 35
3.4.1.4. Catalase ..... 35
3.4.1.5. Peroxidase ..... 36
3.4.1.6. Peróxido de hidrogênio ..... 36
3.4.1.7. Peroxidação de lipídios ..... 37
3.4.2. Avaliações fenométricas ..... 37
3.4.2.1. Massa de matéria seca de haste, folhas e vagens ..... 37
3.4.2.2. Número de nós e ramos laterais ..... 37
3.4.2.3. Número de vagens ..... 38
3.4.2.4. Produtividade ..... 38
3.4.3. Análise estatística ..... 38
4. RESULTADO E DISCUSSÃO ..... 39
4.1. Primeiro ano de experimentação ..... 39
4.1.1. Superóxido dismutase ..... 39
4.1.2. Catalase ..... 40
4.1.3. Peroxidase ..... 41

4.1.4. Peróxido de hidrogênio ..... 42
4.1.5. Peroxidação de lipídios ..... 43
4.1.6. Massa de matéria seca de haste, folhas e vagens ..... 45
4.1.7. Número de nós e ramos laterais ..... 47
4.1.8. Produtividade ..... 49
4.2. Segundo ano de experimentação ..... 50
4.2.1. Superóxido dismutase ..... 50
4.2.2. Catalase ..... 51
4.2.3. Peroxidase ..... 52
4.2.4. Peróxido de hidrogênio ..... 53
4.2.5. Peroxidação de lipídios ..... 53
4.2.6. Massa de matéria seca de haste, folhas e vagens ..... 54
4.2.7. Número de ramos laterais ..... 57
4.2.8. Número de vagens ..... 57
4.2.9. Produtividade ..... 58
5. CONCLUSÕES ..... 61
REFERÊNCIAS ..... 63
ANEXOS ..... 71

# RESUMO

## Uso de reguladores de crescimento na cultura de soja

O aumento no consumo mundial de soja demanda o uso de novas tecnologias em seu sistema de produção. Uma dessas tecnologias é a mudança de arquitetura da planta por meio da aplicação de reguladores de crescimento. Entretanto, esses produtos podem gerar danos à planta. Neste contexto, objetivou-se identificar os danos no metabolismo oxidativo em plantas de soja tratadas com reguladores de crescimento (hormônio e herbicidas em subdose) e verificar a presença de padrão de resposta entre variedades cultivadas do grupo de maturação (GM) 7.X (foram utilizadas as variedades cultivadas TEC 7849 IPRO [GM 7.0] e AS 3797 IPRO [GM 7.9] na primeira safra, e TEC 7849 IPRO e Brasmax Desafio RR [GM 7.4] na segunda safra). Os experimentos foram implantados na área da Cooperativa Agropecuária do Alto Paranaíba (Coopadap) no período de outubro de 2016 a março de 2018. Os experimentos foram conduzidos em esquema fatorial, sendo que nas duas safra foram utilizados seis tratamentos (Controle, Citocinina, Lactofen, Imazetapir, 2,4-D e Clorimuron) com quatro repetições. As parcelas experimentais foram constituídas de cinco linhas de sete metros com espaçamento de 0,6 m entre linhas. As aplicações ocorreram no estádio de desenvolvimento $V_3$ utilizando pulverizador costal propelido a $CO_2$. Foram realizadas avaliações (i) bioquímicas (atividade das enzimas superóxido dismutase, catalase e peroxidase, bem como teor de peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica) aos sete dias após a aplicação dos tratamentos, (ii) fenométricas (massa de matéria seca de haste, folha e vagem, número de nós e ramificações, número de vagens - apenas no segundo ano de experimentação) no estádio de desenvolvimento $R_6$, e (iii) componentes de produção (produtividade). Os dados foram submetidos a testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade (Levene), à análise de variância (análise fatorial) e, quando significativa, ao teste de Tukey (nível de significância de 5%). Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que: (i) a aplicação dos tratamentos aumentou a produtividade (no tratamento com aplicação de Lactofen, principalmente); (ii) há ocorrência de dano fisiológico às plantas; entretanto, a intensidade pode variar com o material genético e as condições climáticas; e (iii) não há padrão de resposta entre as variedades cultivadas utilizadas.

Palavras-chave: *Glycine max*; Herbicida; Lactofen; Imazetapir; 2,4-D; Clorimuron; Hormônio; Citocinina

## ABSTRACT

### Use of growth regulators in soybean culture

The increase in world soybean consumption calls for the use of new technologies in its production system. One of these technologies is the change of architecture of the plant through the application of growth regulators. However, these products can cause damage to the plant. In this context, the objective was to identify oxidative metabolism damage in soybean plants treated with growth regulators (hormone and herbicides in subdose) and to verify the presence of a response pattern among cultivars of the maturation group (GM) 7.X (GM) the cultivars TEC 7849 IPRO [GM 7.0] and AS 3797 IPRO [GM 7.9] were used in the first harvest, and TEC 7849 IPRO and Brasmax Challenge RR [GM 7.4] in the second harvest. The experiments were carried out in the area of the Cooperativa Agropecuária do Alto Paranaíba (Coopadap) from October 2016 to March 2018. The experiments were conducted in a factorial scheme, and in the two harvests six treatments were used (Control, Cytokinin, Lactofen, Imazethapyr, 2,4-D and Chlorimuron) with four replicates. The experimental plots consisted of five seven - meter rows with spacing of 0.6 m between rows. The applications occurred at the V3 development stage using CO2 propellant sprayer. Biochemical evaluations (activity of the enzymes superoxide dismutase, catalase and peroxidase, as well as hydrogen peroxide content and lipid peroxidation) were carried out seven days after the application of the treatments, (ii) phenometric (stem dry matter mass, leaf and pod, number of nodes and branches, number of pods - only in the second year of experimentation) at the R6 development stage, and (iii) production components (productivity). Data were submitted to normality tests (Shapiro-Wilk) and homogeneity (Levene), analysis of variance (factorial analysis) and, when significant, Tukey test (significance level 5%). Based on the results obtained, it was concluded that: (i) the application of the treatments increased the productivity (in the treatment with application of Lactofen, mainly); (ii) there is occurrence of physiological damage to plants; however, the intensity may vary with genetic material and climatic conditions; and (iii) there is no pattern of response among the cultivated varieties used.


Keywords: *Glycine max*; Herbicide; Lactofen; Imazethapyr; 2,4-D; Chlorimuron; Hormone; Cytokinin

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribuição dos grupos de maturação de soja por latitude ao longo do Brasil (ALLIPRANDINI et al., 2009). .....21

Figura 2. Esquema simplificado do mecanismo de ação dos herbicidas inibidores da protoporfirogênio oxidase (Protox).....24

Figura 3. Esquema simplificado do mecanismo de ação dos herbicidas inibidores da acetolactato sintase (ALS). .....25

Figura 4. Estrutura química dos fitormônios citocinina em que (a) é a forma sintética, cinetina e (b) a forma natural, zeatina, da molécula. .....27

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição dos estádios fenológicos da soja. Piracicaba, SP. 2018 (FEHR; CAVINESS, 1977). ..... 20

Tabela 2. Descrição dos tratamentos. Soja. Safra 2016/2017. Rio Paranaíba, MG. 2018. ..... 32

Tabela 3. Descrição dos tratamentos. Soja. Safra 2017/2018. Rio Paranaíba, MG. 2018. ..... 33

Tabela 4. Descrição dos tratos culturais, herbicidas, fungicidas e inseticidas, feitos no experimento na safra 2017/2018. Soja. Rio Paranaíba, MG. 2018. ..... 34

Tabela 5. Valores médios da atividade de superóxido dismutase (SOD, U µg proteína$^{-1}$) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2016/2017. ..... 40

Tabela 6. Valores médios da atividade de catalase (µmol min$^{-1}$ µg$^{-1}$ [proteína]) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2016/2017. ..... 41

Tabela 7. Valores médios da atividade de peroxidase (POD, µmol [púrpuro galina] min$^{-1}$ mg$^{-1}$[proteína]) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2016/2017. ..... 42

Tabela 8. Valores médios da atividade de peróxido de hidrogênio (µmol g$^{-1}$ [MF]) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2016/2017. ..... 43

Tabela 9. Valores médios da atividade de peroxidação lipídica (nmol [TBARS] g$^{-1}$ [MF]) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2016/2017. ..... 44

Tabela 10. Valores médios da massa de matéria seca de haste (g planta$^{-1}$) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2016/2017. ..... 45

Tabela 11. Valores médios da massa de matéria seca de folha (g planta$^{-1}$) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2016/2017. ..... 46

Tabela 12. Valores médios da massa de matéria seca de vagem (g planta$^{-1}$) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2016/2017. ..... 47

Tabela 13. Valores médios do número de nós (Nn, nós planta$^{-1}$) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2016/2017. ..... 48

Tabela 14. Valores médios do número de ramificações (Nr, ramificações planta$^{-1}$) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2016/2017. ..... 48

Tabela 15. Valores médios de produtividade (P, sc ha$^{-1}$) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2016/2017. ..... 50

Tabela 16. Valores médios da atividade da superóxido dismutase (U $\mu g^{-1}$ [proteína]) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2017/2018. .....51

Tabela 17. Valores médios da atividade da catalase (µmol $min^{-1}$ $\mu g^{-1}$ [proteína]) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2017/2018. .....52

Tabela 18. Valores médios da atividade da peroxidase (POD, µmol purpuro galina $min^{-1}$ mg $proteína^{-1}$) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2017/2018.....52

Tabela 19. Valores médios do peróxido de hidrogênio (µmol $g^{-1}$ [MF]) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2017/2018. .....53

Tabela 20. Valores médios da peroxidação lipídica (nmol [TBARS] $g^{-1}$ [MF]) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2017/2018. .....54

Tabela 21. Valores médios da massa de matéria seca de haste (MSh, g $planta^{-1}$) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2017/2018. .....55

Tabela 22. Valores médios da massa de matéria seca de folha (MSf, g $planta^{-1}$) referentes aos diferentes tratamentos e variedade cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2017/2018. .. .....56

Tabela 23. Valores médios da massa de matéria seca de vagem (MSv, g $planta^{-1}$) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2017/2018.....56

Tabela 24. Valores médios do número de ramificações (Nr, ramificações $planta^{-1}$) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2017/2018.....57

Tabela 25. Valores médios do número de vagens (Nv, vagens $planta^{-1}$) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2017/2018. .....58

Tabela 26. Valores médios da produtividade (P, sc $ha^{-1}$) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2017/2018. .....59

# LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|---|---|
| ABA | Ácido abscísico |
| ABP1 | *Auxin Binding Protein* |
| ACS-mRNA | *Acyl-CoA Synthetase m RNA* |
| ALS | Acetolactato sintase |
| APX | Ascorbato peroxidase |
| CAT | Catalase |
| CK | Citocinina |
| DNA | Ácido desoxirribonucleico |
| EDTA | Ácido etilenodiamino tetra-ácido |
| ERRO | Espécies Reativas de Oxigênio |
| GM | Grupo de maturação |
| GPOX | Guaiacol peroxidase |
| GPX | Glutationa peroxidase |
| GSH | Glutationa |
| IPT | Isopentenil transferase |
| KARI | Enzimas acetohidroxiacido isômero reductase |
| KI | Iodeto de potássio |
| NBT | *Nitroblue Tetrazolium* |
| PL | Peroxidação lipídica |
| POD | Peroxidase |
| PPO | Polifenoloxidase |
| Protox | Protoporfirogênio oxidase |
| RNA | Ácido ribonucleico |
| SOD | Superóxido dismutase |
| TBA | Ácido tiobarbitúrico |
| TCA | Ácido tricloroacético |

# 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a soja chegou na safra 2017/18 a uma produção de 118,048 milhões toneladas em uma área de 35,136 milhões hectares (ha) resultando em uma produtividade média de 55,9 sacas $ha^{-1}$ (CONAB, 2018), mas mesmo com números altos ainda está longe de alcançar a produtividade potencial que a planta pode expressar. Em busca de tal, o campeão brasileiro do CESB (Comitê Estratégico Soja Brasil) na safra 2017/2018 chegou a uma produtividade de 127,01 sc $ha^{-1}$.

No mercado há uma gama de tecnologias usadas para alcançar elevada produtividade da cultura que é o resultado da interação entre o potencial genético da variedade cultivada e as condições ambientais durante o cultivo (PONTES JÚNIOR, 2012). Seu principal foco é estimular os componentes de produção da soja, sejam eles primários (número de plantas por área, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa de grãos) ou secundários (número de nós, número de ramificações e número de flores) (FIOREZE et al., 2013) para que se expressem o máximo possível, por intermédio de um conjunto de fatores de manejo aplicados à área de produção que visam obter também maior produtividade econômica (GARCIA, 1992).

Uma dessas tecnologias é o uso de reguladores vegetais (como herbicidas em subdose) para cessar o crescimento em altura da planta e induzir as ramificações laterais, o que, consequentemente, pode levar a maior formação de nós reprodutivos possibilitando maior número de flores e maior número de vagens por planta (FOLONI et al., 2016).

Taiz et al. (2017) tratam esse fenômeno como decaptação e ocorre em plantas cuja a dominância apical é forte inibindo as brotações laterais no caule. Entretanto, quando a planta perde a gema terminal, ocorre o crescimento das gemas laterais tornando a arquitetura da planta mais arbustiva e menor em altura.

O maior problema ao usar herbicidas é a injúria que estes causam à planta. Como é o caso dos inibidores de Protox, que causam um dano no local onde é aplicado por produzir espécies reativas de oxigênio (ERO), como o oxigênio “singlet”, que por consequência da sua ação leva a peroxidação lipídica da membrana plasmática das células (HESS, 2000).

Outras ERO, que podem ser formadas nas plantas, são o radical superóxido ($O_2^-$), radical hidroxila ($OH^-$) e o peróxido de hidrogênio ($H_2O_2$), sendo todos extremamente reativos e fitotóxicos ao ponto de levar a planta à morte. Por isso, para sobreviver a eles, as plantas possuem sistemas de desintoxicação enzimática que atua degradando essas moléculas,

transformando-as em água ($H_2O$) e gás oxigênio ($O_2$) (BARBOSA et al., 2014). Esses efeitos ficam ainda mais severos quando as plantas passam por outras situações não previstas de estresse, como os veranicos (PARSONS, 2003).

As citocininas são também reguladores vegetais que alteram a arquitetura da planta, mas que não causam danos no metabolismo como os herbicidas em subdose. Isso ocorre por serem as responsáveis por promoverem a diferenciação dos calos das gemas laterais, aumentarem a imunidade das plantas e a adaptação delas a estresses (FAGAN et al., 2015). Esses efeitos são interessantes, mas é preciso conhecer mais a fundo os aspectos fisiológicos de se usar herbicidas (em subdose) e citocinina na cultura de soja para que se tenha uma tomada de decisão mais eficiente visando sempre a produtividade máxima econômica.

Portanto, o presente trabalho tem por objetivos: (i) identificar danos causados na atividade fisiológica que ocorrem usando herbicidas em subdose; e (ii) verificar a existência de padrão de resposta em variedades cultivadas com grupo de maturação 7.X.

# 2. REVISÃO DE LITERATURA

## 2.1. Aspectos morfológicos da cultura de soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é originaria da costa leste da Ásia, na China onde foi domesticada e melhorada a partir do cruzamento de duas plantas selvagens por cientistas da antiga China (VAL, 2014). É cultivada no oriente a mais de cinco mil anos. Chegou ao ocidente na metade do século XX. Chegou ao Brasil em 1882, vinda dos Estados Unidos. Adaptou-se à região sul do país, iniciando o cultivo mais intenso em meados da década de 70 (MISSÃO, 2006).

Segundo Sediyama (2009), a soja pertence à família Fabaceae, antiga Leguminosae, subfamília Papilionoides. Possui raiz pivotante com grande número de raízes laterais. O caule é ereto e herbáceo variando de 0,6 a 1,5 m podendo ou não ser ramificado, desenvolvendo-se a partir do eixo embrionário após o início da germinação (MULLER, 1981). O tipo de crescimento final do caule depende do tipo de crescimento, determinado, semideterminado ou indeterminado. Para os dois primeiros, a gema terminal transforma-se em inflorescência racemosa enquanto que para o último não há transformação e o caule continua a se desenvolver após o florescimento (SILVA, 2013).

Durante o seu desenvolvimento, a planta de soja possui dois tipos de folhas: as simples e as trifoliadas cujo tamanho e o posicionamento são diferentes. Já as unifoliadas surgem no primeiro nó acima do nó cotiledonar e são lanceoladas com o pecíolo curto variando de 1 a 3 cm. As folhas trifoliadas são folhas alternadas, longas, pecioladas, sendo inseridas no caule principal ou nas ramificações (MULLER, 1981).

As flores de soja são completas, variando nas cores branca e violeta, dependendo da variedade cultivada, localizadas em racemos curtos que contêm de 9 a 10 flores cada, e tendo de 3 a 8 mm de diâmetro e autofecundam antes da antese (VERNETTI; VERNETTI JÚNIOR, 2009). Os frutos são do tipo vagem ou legume, podendo ter de uma a cinco sementes em cada, sendo essas arredondas e variam de tamanho e cor conforme a variedade. A quantidade de vagens por inflorescência é de duas a mais de 20 e pode chegar a mais de 400 por planta (SEDIYAMA et al., 1985).

## 2.2. Aspectos fisiológicos da cultura de soja

A soja é uma planta de metabolismo tipo $C_3$, o que faz com que ela tenha uma menor eficiência na conversão de $CO_2$ quando comparada às plantas de ciclo fotossintético $C_4$. Isso acontece devido a ribulose-1,5-bifosfato carboxilase/oxidase (RuBisCo) ter afinidade tanto com $O_2$ quanto com $CO_2$, sendo sua atividade de carboxilase ou oxidase verificada pela disponibilidade de um ou outro na câmara subestomática. Em condições favoráveis à planta, sem nenhum tipo de estresse, aumenta-se a concentração de $CO_2$ na folha estimulando a atividade da carboxilase da RuBisCo. Entretanto, quando a planta é estressada, ocorre o fechamento dos estômatos diminuindo a entrada de $CO_2$ e elevando a concentração de $O_2$ na folha estimulando assim a atividade da oxidase da RuBisCo, o que diminui a eficiência fotossintética. Esse mecanismo é importante para que a planta não diminua a fotossíntese em condições de estresse (TAIZ et al., 2017).

Ao longo do desenvolvimento da soja a taxa fotossintética da planta varia. Durante a fase cotiledonar ela é muito baixa quando comparada às fases que se tem folhas verdadeiras, mas é suficiente para suprir a demanda da plântula (FAGAN, 2007). Este aumento na taxa fotossintética está relacionado com o desenvolvimento e expansão de folhas no dossel da planta. No início os trifólios mais jovens estão expostos a todo fluxo de radiação solar incidente, porém possuem pouca atividade fotossintética, quando comparadas as folhas totalmente desenvolvidas. Conforme a folha se expande o aparato fotossintético desenvolve-se gradualmente o que resulta em incremento na taxa fotossintética (GRANDIS, 2010).

Os fotoassimilados possuem papel importante na planta por serem fontes de energia para diversas partes da planta também conhecidas como drenos. Em soja, a sacarose e a serina são os principais compostos translocados pelo floema para os órgãos drenos como raízes, caules, gemas em expansão e sementes (TAIZ et al., 2017). Tal translocação é governada pela distância física da fonte ao dreno sendo que as folhas fisiologicamente maduras, aqueles que tem a área foliar superior a 50%, fornecem os fotoassimilados para as áreas em expansão da planta. Na fase vegetativa os órgãos principais são as raízes, as folhas mais jovens e as gemas vegetativas, enquanto que no estádio reprodutivo são as flores, as vagens e os grãos (CASAROLI et al., 2007).

Devido a sua origem, regiões de altas altitudes e clima temperado, a soja se adaptou melhor em regiões com temperaturas entre 20 e 30°C sendo 30°C o ideal, mesmo com os programas de melhoramento (EMBRAPA, 2013). Temperaturas muito elevadas ou muito baixas interferem diretamente na produção da planta (BOARD; ZHANG; HARVILLE, 1996).

Temperaturas acima de 40°C inibem a germinação do pólen e o crescimento do tubo polínico prejudicando a floração e a capacidade de retenção de vagens (SALEM et al., 2007). Por outro lado, temperaturas baixas reduzem a atividade fotossintética da planta bem como a taxa de crescimento pela diminuição da atividade enzimática (ARAÚJO; DEMINICIS, 2009), além de a floração ser induzida com temperaturas acima de 13°C (SIMEÃO, 2015). A fase mais crítica da planta para estresse por temperatura é entre os estádios reprodutivos $R_1$ e $R_4$, afetando o número de sementes, e entre os estádios reprodutivos $R_5$ e $R_6$ (enchimento de grãos), reduzindo a massa das sementes devido à redução da atividade fotossintética.

A soja tem o máximo de exigência hídrica na floração e no enchimento dos grãos, cerca de 7 a 8 mm [água] dia$^{-1}$, além da presença de agua no sistema também ser importante na fase de germinação. A demanda hídrica ao longo de todo ciclo varia de 450 a 850 mm de agua levando em consideração as variações do clima ao longo do desenvolvimento (GAVA, 2014). A água constitui cerca de 90% do peso da planta e atua em praticamente todos os processos fisiológicos e bioquímicos como solvente de nutrientes e outros solutos e atua na regulação térmica, mantendo a temperatura da planta e distribuindo calor (FERRARI et al., 2015). Tanto o excesso quanto a falta de agua é prejudicial a cultura, principalmente nos primeiros estádios, por afetar diretamente o estabelecimento uniforme da cultura. Carvalho et al. (2013), verificou que nesta fase o conteúdo de água no solo não deve ser inferior a 50% e nem superior a 90% por atrapalhar o processo de germinação.

### 2.3. Duração do ciclo da cultura de soja

O ciclo da cultura de soja é dividido em duas fases, vegetativa e reprodutiva. Cada fase é marcada pelas mudanças morfológicas que acontecem ao longo do desenvolvimento. Fehr e Caviness (1977) caracterizaram cada estádio com uma sigla composta por letra e número que vai desde a emergência até a maturação (Tabela 1), para facilitar a comunicação entre produtores e pesquisadores. O sistema desenvolvido por esses autores pode ser usado para planta de soja com hábito de crescimento determinado ou indeterminado, desde que se leve em consideração a folha totalmente expandida e o quarto nó maduro do ápice para a base para avaliar o estádio fenológico.

**Tabela 1.** Descrição dos estádios fenológicos da soja. Piracicaba, SP. 2018 (FEHR; CAVINESS, 1977).

| Sigla | Descrição |
|---|---|
| VE | Emergência |
| VC | Abertura dos cotilédones |
| $V_1$ | Expansão do primeiro nó maduro, par de folhas unifoliadas |
| $V_2$ | Expansão do segundo nó maduro, par de folhas unifolioladas e primeira folha trifoliada |
| $V_3$ | Expansão do terceiro nó maduro, par de folhas unifoliada e segunda folha trifoliada |
| $V_n$ | Expansão do n-ésimo nó maduro, par de folhas unifoliada e enésima folha trifoliada |
| $R_1$ | Primeira flor aberta na planta |
| $R_2$ | Florescimento pleno na planta |
| $R_3$ | Primeiro fruto com 0,5 cm na planta |
| $R_4$ | Frutificação plena na planta |
| $R_5$ | Início da granação |
| $R_6$ | Enchimento de 100% da semente |
| $R_7$ | Maturidade fisiológica |
| $R_8$ | 95% de vagens maduras na planta |

A duração do ciclo é regida principalmente pela temperatura e pelo fotoperíodo crítico. A soja necessita de uma faixa de temperatura ótima para o melhor desenvolvimento como já foi supracitado, além do ciclo poder ser acelerado ou reduzido se a temperatura for muito elevada ou muito baixa, respectivamente (FERNEDA et al., 2016). O fotoperíodo crítico é variável com cada variedade cultivada e determina o fotoperíodo que abaixo dele a planta entra no período reprodutivo (FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER, 2007). Essa característica faz com que o ciclo da mesma variedade cultivada mude ao longo da latitude, uma vez que quanto menor o grau da latitude menor a variação do fotoperíodo ao longo ano e mais fácil de se ter dias abaixo do fotoperíodo crítico da planta induzindo o florescimento. Logo, a mesma variedade cultivada semeada no Sul e no Norte do Brasil tem a duração do ciclo diferente, sendo que a semeada no Norte irá chegar ao final mais rápida do que no Sul.

Para minimizar as diferenças, dividiram-se faixas para limitar as áreas de adaptabilidade de cada variedade cultivada usando a classificação por grupo de maturação (GM), que é definido conforme a latitude e o período juvenil da planta. A partir destas informações a classificação, superprecoce, precoce, médio e tardio passou a ser válida apenas dentro de cada faixa em que a variedade cultivada é adaptada (COSTA, 2015). No Brasil, apenas adaptou-se o que já era usado no sistema internacional. Os grupos de maturação variam de zero a dez e quanto maior o número, mais próximo ao Equador é a região de adaptação da variedade cultivada (Figura 1). Números maiores também indicam que a

duração do ciclo é maior, ou seja, uma variedade cultivada 7.5 tem o ciclo maior do que um 6.2 e assim sucessivamente. De modo geral, para cada número que aumenta após o ponto tem-se dois dias a mais no ciclo (PENARIOL, 2000).

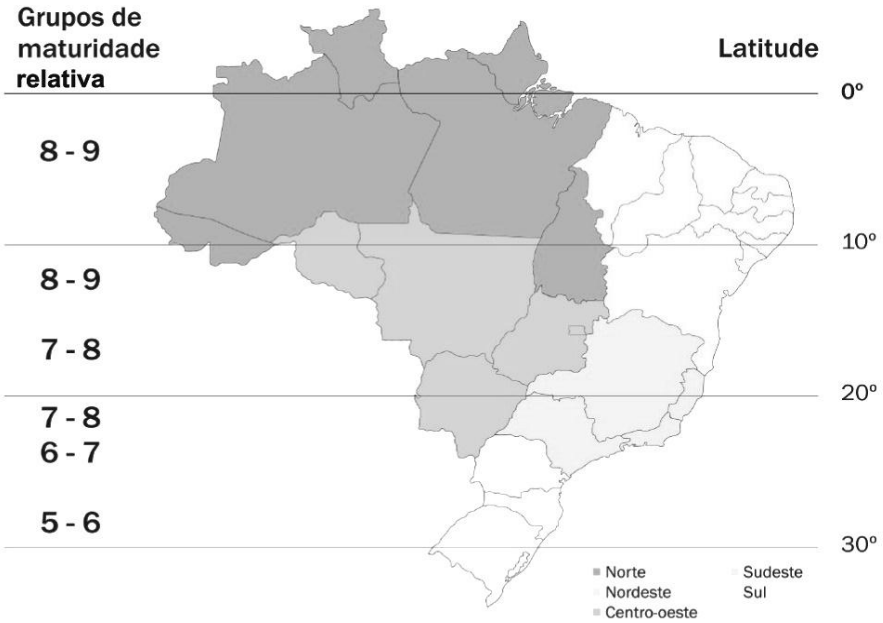



**Figura 1.** Distribuição dos grupos de maturação de soja por latitude ao longo do Brasil (ALLIPRANDINI et al., 2009).

A introdução do período juvenil longo nas variedades cultivadas modernas tornou o florescimento mais tardio. Uma planta que possui esta característica permanece na fase vegetativa mais tempo do que variedades cultivadas convencionais, mesmo expostas a dias curtos. Desta forma, as variedades cultivadas com o período juvenil longo tornam-se menos sensíveis ao fotoperíodo possibilitando maior adaptação as regiões tropicais para que se tenha maior rendimento, melhor qualidade no grão e maior lucratividade (LOPES, 2013).

### 2.4. Uso de herbicidas em subdose para controlar crescimento de soja

A arquitetura das plantas é definida por características como o número de caules e ramificações, número de comprimento dos entrenós, quantidade, estrutura e orientação das folhas. Tais definem a forma, o tamanho e a geometria das plantas. Estes aspectos são determinados pela base genética das plantas e modulada pelas características ambientais, principalmente fotoperíodo, temperatura, intensidade luminosa e disponibilidade de água. Algumas práticas agronômicas podem ser utilizadas para alterar a arquitetura das plantas

como a data e densidade de semeadura além dos reguladores de crescimento (HUYGHE, 1998). Dentre os produtos capazes de alterar a arquitetura da planta estão os herbicidas e os hormônios vegetais.

Um dos herbicidas mais utilizados para alterar a arquitetura da soja reduzindo o espaçamento dos entrenós, altura da haste principal e aumentando o número de ramificações, são os inibidores de Protox. Estes, por serem herbicidas de contato, causam um dano no ápice da planta que cessa o crescimento vertical temporariamente (OLIVEIRA JÚNIOR, 2011). Tal injúria modifica a relação auxina/citocinina que até então tinha-se a auxina como predominante inibindo a síntese e promovendo a degradação da citocinina e bloqueando assim o brotamento das gemas laterais. O modelo proposto por Tanaka et al. (2006) apresenta a auxina sendo sintetizada no ápice do caule e transportada de forma polar e basípeta para os outros tecidos da planta e inibindo o desenvolvimento das gemas laterais. Isto ocorre devido a auxina inibir os genes da enzima IPT (*isopentenil transferase*) responsável por catalisar uma etapa limitante da biossíntese de citocininas na planta. Portanto, a auxina além de inibir a síntese de citocininas, também promove sua degradação que acaba reduzindo os níveis de citocinina na gema apical inibindo a divisão celular das gemas laterais.

Por ser produzida no ápice da planta, local afetado pelo herbicida, a síntese de auxina diminui e a de citocinina é estimulada (TAIZ et al., 2017). A enzima adenosina fosfato isopentenil transferase catalisa o primeiro passo da biossíntese das citocininas. Posteriormente, a citocinina é transportada para as gemas laterais e induz seu desenvolvimento formando ramificações. Em função disto, a aplicação de citocinina na gema apical das plantas pode ser outra ferramenta para aumentar o número de ramificações e mudar arquitetura da planta.

O efeito do herbicida é temporário e logo a planta recupera o dano e retoma a dominância apical voltando a crescer em altura e desenvolvendo as brotações laterais agora estimuladas. Estas ramificações vão interferir diretamente no número de nós reprodutivos da planta que por consequência aumenta o número de vagens (OHYAMA et al., 2013).

Gallon et al. (2016), usando dois herbicidas inibidores da Protox, lactofen (dose de 144 g $ha^{-1}$) e carfentrazone (doses de 6, 10 e 22 g $ha^{-1}$), para reduzir altura de planta e verificar o rendimento de grãos, constataram que ambos os herbicidas reduziam significativamente a altura das plantas, mas apenas o tratamento com lactofen obteve rendimento de grãos maior que o tratamento controle. Soares (2016), objetivando avaliar o efeito de herbicida lactofen sob os componentes de produção da soja, verificou aumento de produtividade nos tratamentos que foram usados o herbicida quando comparado ao controle. Entretanto, Heiffig (2006)

obteve queda na produtividade em relação ao controle quando usou o mesmo herbicida na cultura da soja. A discrepância entre os resultados pode estar nas condições ambientais onde foram instalados os experimentos. Quando o estresse ambiental é de moderado a alto os custos de metabólicos para que a planta se recupere do dano causado pelo herbicida e do dano do estresse ambiental é devastador e reflete na produção (PARSONS, 2003).

Johnson et al. (2002) avaliaram o efeito que 14 herbicidas (flumetsulam, imazaquin, sulfentrazone, clorimuron + metribuzin, acifluorfen + 2,4-D, acifluorfen + bentazon, fomesafen, lactofen, clorimuron, clorimuron + tifensulfuron, glifosato, clorasulam, imazamox, imazetapir) causaram no índice de área foliar, na porcentagem de injurias e no rendimento de grãos, em plantas de soja resistente ao glifosato com ciclo de crescimento precoce, médio e tardio cultivadas em safra e em safrinha. De modo geral os tratamentos com herbicidas produziram mais que o controle, a variedade cultivada precoce produziu menos que as demais e quando cultivadas em safrinha o rendimento foi menor ainda.

### 2.4.1. Herbicidas

#### 2.4.1.1. Inibidores da Protox

A protoporfirinogênio oxidase (Protox) é uma enzima que atua na biossíntese de porfirinas que posteriormente irão formar o grupo heme da molécula de clorofila. A enzima converte protoporfirinogênio-IX em protoporfirina-IX mediante aromatização oxidativa com exigência de oxigênio molecular (CARVALHO; GONÇALVES NETTO, 2016). A inibição da Protox em plantas causa o acúmulo do substrato protoporfirinogênio-IX no cloroplasto que, devido ao aumento da concentração ocorre sua difusão para o citoplasma onde é convertida em protoporfirina-IX por peroxidases insensíveis ao herbicida, entretanto a nova molécula não pode voltar para o cloroplasto devido a sua natureza lipofílica (BARBERIS et al., 2009). Portanto, a molécula de protoporfirina-IX não se liga ao Mg e Fe deixando de formar o grupo heme e paralisando a produção de clorofila (ABE et al., 2018). A protoporfirina-IX é um pigmento fotodinâmico e quando acumulado no citoplasma e na presença de luz e oxigênio molecular pode induzir a formação do oxigênio singlet. Este radical livre no citoplasma provoca a peroxidação dos lipídeos das membranas, devido ao seu alto poder reativo, o que pode levar a célula a morte e provocar necroses no tecido foliar (SILVA et al., 2017) (Figura 2).

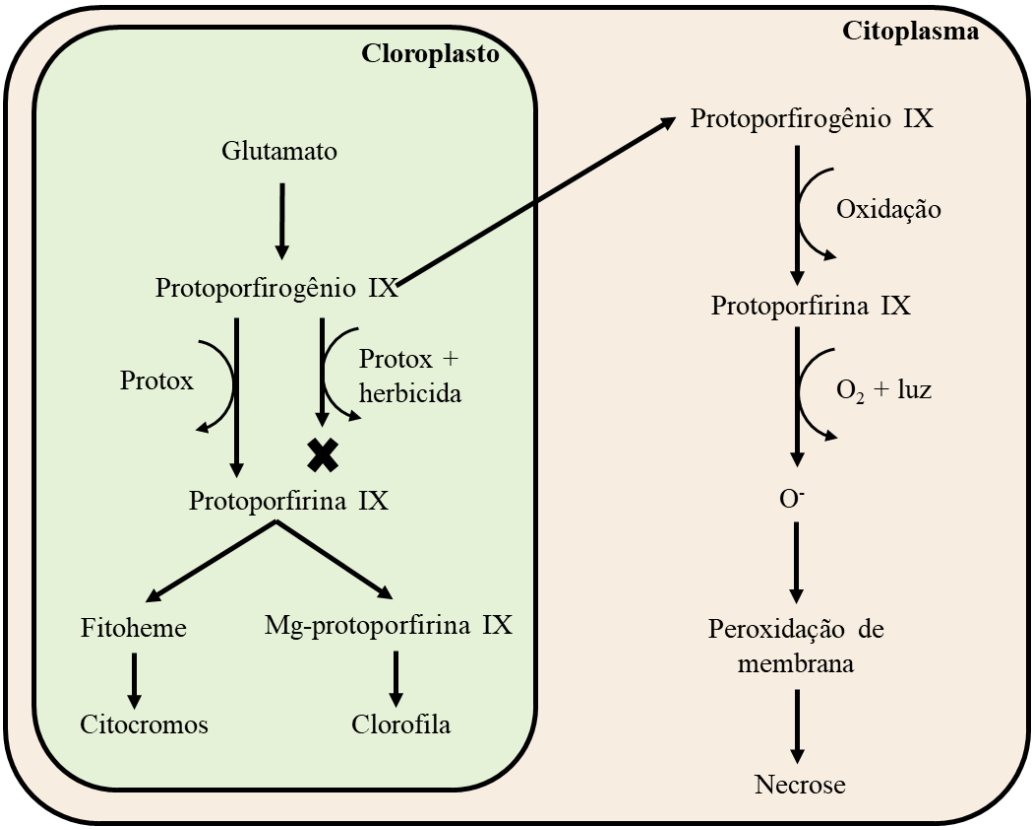



**Figura 2.** Esquema simplificado do mecanismo de ação dos herbicidas inibidores da protoporfirogênio oxidase (Protox).

#### 2.4.1.2. Inibidores da ALS

Os herbicidas inibidores da acetolactato sintase (ALS) pertencem a diversos grupos químicos, dentre eles as sulfonilureias e imidazolinonas. O mecanismo de ação se dá pela inibição da síntese dos aminoácidos alifáticos de cadeia lateral sendo eles a leucina, isoleucina e valina (TRANEL; WRIGHT, 2002). A biossíntese destes aminoácidos tem em comum a enzima ALS, responsável pela fase inicial do processo catalizando uma reação de condensação. Reação esta que consiste na fusão de duas moléculas de piruvato originando o acetolactato ou condensando uma molécula de piruvato com uma molécula de 2-cetobutirato gerando uma molécula de 2-aceto-2-hidroxibutirato sendo o primeiro passo para a biossíntese do aminoácido isoleucina (CHRISTOFFOLETI; NICOLAI, 2016). A partir destes produtos ocorrem três catalizações, pelas enzimas acetohidroxiacido isômero reductase (KARI), dihidroxiacido dehidratase e aminotransferase que resultam em valina e isoleucina. Para a conversão da valina 2-ceto-isovalerato ocorre ainda uma série de quatro reações que utilizam as enzimas 2-isopropilimalato sintase, isopropilimalato isomerase, desidrogenase e aminotrasnferase. Os herbicidas inibidores da ALS impedem que estas reações de

condensação aconteçam, o que bloqueia a produção de aminoácidos alifáticos de cadeia lateral (Figura 3).

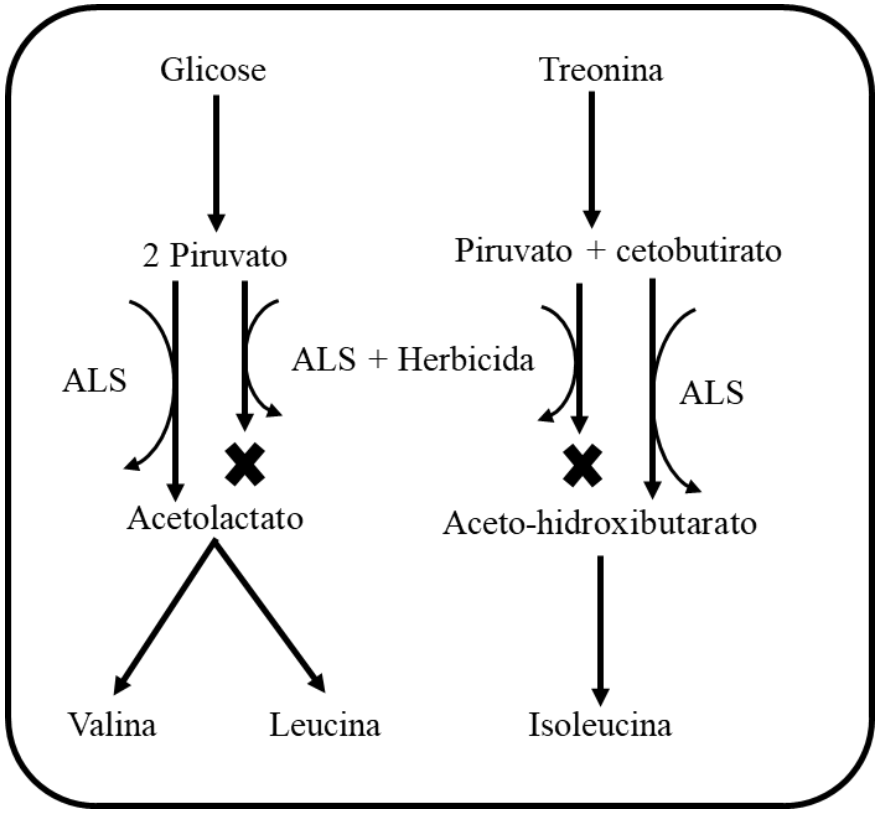



**Figura 3.** Esquema simplificado do mecanismo de ação dos herbicidas inibidores da acetolactato sintase (ALS).

Quando o herbicida está dentro da célula da planta susceptível, ele inibe a formação de acetolactato, indispensável para a produção dos aminoácidos (MARCHI et al., 2008). Isto faz com que a divisão celular seja interrompida paralisando o crescimento da planta. Poucos dias após a aplicação a planta apresenta clorose nas folhas novas e posterior necrose dos tecidos.

#### 2.4.1.3. Mimetizadores de auxina

A atuação desta classe de herbicidas nas plantas tem sido controversa, principalmente quanto ao receptor *Auxin Binding Protein* (ABP1). Entretanto, sabe-se que a atuação das auxinas na membrana plasmática induz a ativação da proteína cinase TMK na membrana plasmática responsável por codificar o acionamento de uma proteína G, denominada RAC/ROP GTPase. De acordo com Berken e Wittinghofer (2008) as proteínas G

exercem um papel chave na transdução de sinal nas células eucarióticas, logo as proteínas RAC/ROP são proteínas G especificas de plantas. Suas funções estão relacionadas à coordenação espacial das células vegetais na organização do citoesqueleto, articulando a disposição dos filamentos de actina e microtúbulos, que são estruturas que atuam como os "pilares de sustentação" das células. A super ativação deste mecanismo pelos herbicidas mimetizadores de auxina modifica os padrões do citoesqueleto levando a menor atividade dos lisossomos e da mitocôndria, responsáveis pela regulação dos oxidantes no citosol (FIQUEIREDO, 2015). Supõe-se que esta atuação do herbicida sobre as estruturas do citoesqueleto de actina seja responsável pelo sintoma de epinastia das folhas.

Durante a transcrição dos vários RNA mensageiros produzidos dois deles tem papel importante no efeito do herbicida, sendo eles o NCED-mRNA, responsável por induzir a biossíntese de ácido abscísico (ABA) e o ACS-mRNA, que induz a síntese do etileno. A produção desregulada destes hormônios leva a produção em larga escala de espécies reativas oxigênio (ERO) que altera o estado redox intracelular e extracelular. A ação destas ERO causam uma desorganização na parede celular, devido a desidratação da matriz e saturação da parede, que a torna endurecida e reduz o crescimento celular (PEREIRA et al., 2011). A perda de estrutura da parede celular facilita que as ERO sejam capazes de penetrar na membrana plasmática e interagir com os fosfolipídios resultando na instauração dos lipídeos da membrana plástica, o extravasamento do citosol e posteriormente morte celular.

### 2.4.2. Citocinina

Durante uma pesquisa sobre os elementos que estimulavam a divisão celular dos vegetais (hormônios), descobriu-se uma pequena molécula, que na presença de auxina, podia estimular a proliferação do tecido parenquimático medular do tabaco. Este processo é denominado de citocinese, logo a molécula foi batizada de cinetina, que é uma citocinina sintética e sua estrutura é similar à das citocininas de ocorrência natural (Figura 4) (TAIZ, et al., 2017).

Estruturalmente as citocininas são derivadas das purinas e compõem-se de uma cadeia principal formada pela adenina, uma base nitrogenada componente do DNA e RNA, e por uma cadeia lateral isoprenóide, composto secundário também conhecido como terpeno, ou aromática, geralmente algum fenol (CANHOTO, 2017).

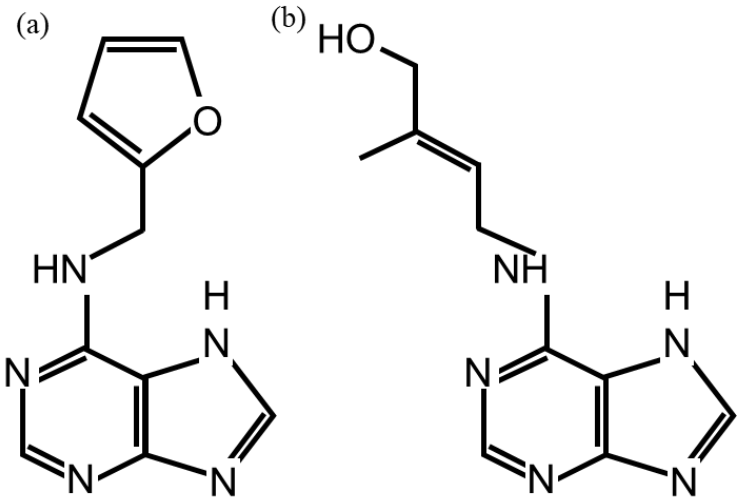



**Figura 4.** Estrutura química dos fitormônios citocinina em que (a) é a forma sintética, cinetina e (b) a forma natural, zeatina, da molécula.

O transporte do hormônio nas plantas ocorre basicamente pelo xilema, mesmo o floema sendo um sistema de abastecimento mais eficiente para órgão que possuem transpiração limitada. As citocininas são sintetizadas nas extremidades das raízes, mas órgãos jovens como sementes, folhas e frutos apresentam altas teores deste hormônio (SALISBURY; ROSS, 2012).

Além da função de divisão celular, outras atribuições estão ligadas ao hormônio como a mobilização de nutrientes, senescência foliar, desenvolvimento floral, expansão de folhas e cotilédones, germinação de sementes, dominância apical, formação e atividade dos meristemas apicais e superação de dormência de gemas (FAGAN et al., 2015). Carvalho (1999) registrou que as citocininas controlavam a dormência apical e induziam a brotação das gemas axilares das plantas.

Soares (2016) posicionou a aplicação de cinetina em dois estádios de desenvolvimento de soja e conclui que o uso do hormônio aumentou a assimilação de nitrogênio, reduziu o nível de estresse das plantas, incrementou o acúmulo de massa de matéria seca das plantas e repercutiu em ganhos em produtividade. Fioreze et al. (2017) estudando a influência da aplicação de cinetina no estádio reprodutivo da soja verificaram que a aplicação em casa de vegetação e em campo apresentou padrões diferentes. Estes resultados foram associados as condições ambientais.

## 2.5. Estresse oxidativo

O estresse pode ocorrer de forma biótica ou abiótica (VAN LOON, 2016). Em ambos os casos causam redução da produtividade. Tais interferências ocorrem pela ação das ERO que atuam nas vias metabólicas. As ERO envolvem quatro formas do oxigênio molecular sendo elas, o oxigênio "singlet" ($^1O_2$), o radical superóxido ($O_2^-$), o peróxido de hidrogênio ($H_2O_2$) e o radical hidroxila ($OH^-$) (MITTLER, 2002).

Em situações normais de crescimento, a produção de ERO é baixa (240 μM $s^{-1}$ $O_2^-$ e 0,5 μM $H_2O_2$ no cloroplasto), enquanto que condições de estresse aumenta o nível de ERO produzidas (240-720 μM $s^{-1}$ $O_2^-$ e 5-15 μM $H_2O_2$) (POLLE, 2001). A produção destes radicais acontece principalmente nos cloroplastos, peroxissomos, mitocôndria, apoplastos, parede celular e membrana plasmática (DAS; ROYCHOUDHURY, 2014).

Quando são produzidos em quantidades elevadas, as ERO podem levar a morte celular por peroxidação dos lipídeos da membrana, oxidação das proteínas, inibição de enzimas e danos ao DNA e RNA. Entretanto, em baixas concentrações elas agem como sinalizadores para a ativação à resposta ao estresse e vias de defesa vegetal (MITTLER, 2017).

Para a desintoxicação das ERO existem compostos antioxidantes, os quais, em concentrações relativamente baixas, competem com outros substratos oxidáveis, diminuindo ou inibindo a oxidação destes substratos. Estes compostos incluem as enzimas superóxido dismutase (SOD), polifenoloxidase (PPO), catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX), glutationa peroxidase (GPX) e guaiacol peroxidase (GPOX) (SWANSON; GILROY, 2010). Podem-se incluir agentes não enzimáticos, como a α-tacoferol (vitamina E), β-caroteno (vitamina B), ascorbato (vitamina C) e glutationa (GSH) (DAS; ROYCHOUDHURY, 2014).

A degradação do $O_2^-$ é feita pela SOD, a qual deve estar no local onde o radical superóxido foi produzido, pois as membranas fosfolipídicas são impermeáveis a esse radical (ALSCHER et al., 2002). As SOD são as primeiras enzimas de defesa contra as ERO, as quais são um grupo de metalo-enzimas que catalisam a formação do $H_2O_2$ a partir do $O_2$-. Estas se classificam em quatro tipos de acordo com o componente metálico presente no seu sítio ativo: cobre/zinco (Cu/Zn-SOD), manganês (Mn-SOD), ferro (Fe-SOD) ou níquel (Ni-SOD) (DAS e ROYCHOUDHURY, 2014). De modo geral as plantas contêm a Mn-SOD na matriz mitocondrial e uma Cu/Zn-SOD citosólica e com Fe-SOD e ou Cu/Zn-SOD no estroma do cloroplasto. O número de isoenzimas de SOD pode variar de uma planta para outra (BOWLER et al., 1992).

Após a formação do $H_2O_2$, tanto pela ação da SOD quanto pela fotorrespiração e a β-oxidação dos ácidos graxos, a CAT o degrada à $H_2O$ e oxigênio molecular (DUBEY, 2011; ANJUM et al., 2016). Ela atua nos peroxissomos e glioxissomos e pode ser encontrada também em mitocôndrias. Em plantas, existem pelo menos três tipos de CAT distintas, que diferem em termos de localização e regulação biossintética. O tipo I são aquelas que estão presentes em sistemas fotossintéticos e removem o $H_2O_2$ produzido durante a fotorrespiração; o tipo II é produzido no sistema vascular e tem função de lignificação e o tipo III é abundante em sementes e plantas jovens, cuja função é a remoção do $H_2O_2$ produzido pela degradação de ácidos graxos no ciclo do glioxilato nos glioxissomos (VAN BREUSEGEM et al., 2001). A catalase opera sem agente redutor, fornecendo às plantas uma forma energeticamente eficiente para a remoção do $H_2O_2$ sendo sua atividade efetiva, principalmente em concentrações relativamente altas de $H_2O_2$ (mM), por isso são consideradas indispensáveis para a desintoxicação, especialmente em condições de estresses severos (DUBEY, 2011).

Existe uma gama de peroxidases (POD) nas células vegetais, cada qual com sua função específicas sendo algumas naturalmente expressas enquanto outras são induzidas por estresses ambientais o que faz com que sua atividade seja utilizada como marcador bioquímico destes estresses, além da identificação precoce de processos morfogênicos e multiplicação de plantas (KIM; KWAK, 2010). A ação das peroxidases e da CAT são as rotas mais importantes de desintoxicação de $H_2O_2$ sendo que ambas o degrada formando água e oxigênio molecular (BARBOSA et al., 2014). A diferença básica entre elas está na necessidade das peroxidases precisarem de uma molécula redutora para agir como co-fator de regeneração (MHAMDI et al., 2012). As peroxidases estão presentes nos tecidos vegetais e localizando-se principalmente na parede celular e no vacúolo. As peroxidases mais importantes são a APX e a GPX (MOLDES, 2006).

Quanto ao $OH^-$ não há enzimas antioxidantes que o eliminam de forma direta de modo que a sua regulação ocorre através do controle de seus percussores ($O_2^-$ e $H_2O_2$) através das enzimas SOD, POD e CAT uma vez que sua presença é altamente nociva para os sistemas vivos (DAS; ROYCHOUDHURY, 2014).

# 3. MATERIAL E MÉTODOS

## 3.1. Localização e características da área experimental

O experimento foi conduzido na Fazenda experimental Cooperativa Agropecuária do Alto Paranaíba (COOPADAP), localizada no município de Rio Paranaíba, MG (19° 11’ 37” de latitude Sul, 46° 14’ 50” de longitude Oeste e 1067 m de altitude) entre os meses de outubro de 2016 a março de 2018. Rio Paranaíba, segundo a classificação de Köppen, apresenta um clima tropical de altitude (Cwa), com precipitação média anual em torno de 1533 mm (SOUZA et al., 2005), sendo a temperatura média anual igual a 20,4ºC, a máxima anual 22,3ºC e a mínima anual 17,6ºC, conforme dados da Estação Meteorológica de Sertãozinho (Epamig) localizada no município de Patos de Minas, MG. As avaliações fisiológicas, fenométricas e produtivas foram realizadas Laboratório do Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas (NUFEP) do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM) em Patos de Minas-MG.

## 3.2. Primeiro ano de experimentação

### 3.2.1. Caracterização do experimento

No primeiro ano, safra 2016/2017, o experimento foi realizado utilizando a espécie *Glycine max* (L.) Merrill com duas variedades cultivadas. O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso, constituído por um fatorial de seis tratamentos e duas variedades cultivadas com quatro repetições (Tabela 2). Cada parcela foi composta por cinco linhas com 7 m de comprimento por 0,45 m entrelinhas, totalizando uma área de 15,75 $m^2$. Assim a área total do experimento foi de 756 $m^2$. A área útil de cada parcela foi constituída pelas linhas centrais, descartando 0,5 m em cada extremidade da parcela.

As aplicações dos tratamentos foram realizadas no estádio $V_3$ com pulverizador costal propelido a $CO_2$. Utilizando barra com quatro bicos tipo leque, perfazendo 2,25 m de comprimento e com pressão de 2 bar. Para todas as aplicações foi utilizado volume de calda de 200 L $ha^{-1}$.

**Tabela 2.** Descrição dos tratamentos. Soja. Safra 2016/2017. Rio Paranaíba, MG. 2018.

| Tratamento | Descrição | Dose | Unidade | Variedade cultivada | Grupo de maturação |
|---|---|---|---|---|---|
| $T_1$ | Controle | - | - | TEC 7849 IPRO | 7.0 |
| $T_2$ | Citocinina | 200 | mg $ha^{-1}$ | | |
| $T_3$ | Lactofen | 300 | mL $ha^{-1}$ | | |
| $T_4$ | Imazetapir | 300 | mL $ha^{-1}$ | | |
| $T_5$ | 2,4-D | 35 | mL $ha^{-1}$ | | |
| $T_6$ | Clorimuron | 35 | mL $ha^{-1}$ | | |
| $T_7$ | Controle | - | - | AS 3797 IPRO | 7.9 |
| $T_8$ | Citocinina | 200 | mg $ha^{-1}$ | | |
| $T_{19}$ | Lactofen | 300 | mL $ha^{-1}$ | | |
| $T_{10}$ | Imazetapir | 300 | mL $ha^{-1}$ | | |
| $T_{11}$ | 2,4-D | 35 | mL $ha^{-1}$ | | |
| $T_{12}$ | Clorimuron | 35 | mL $ha^{-1}$ | | |

### 3.2.2. Instalação e condução do experimento

Antes da semeadura, foi feita a coleta de amostras de solo da área onde o experimento foi instalado. Com base nos resultados desta análise, foi feito adubação de semeadura com o fertilizante 8-30-10 conforme a necessidade da cultura. No tratamento de sementes foi aplicado Co=Mo® Platinum na dose de 1,5 mL $kg^{-1}$ de semente e inseticida e fungicida em tratamento industrial. A semeadura foi realizada mecanicamente no dia 15 de novembro de 2016 com a população de plantas de 240.000 plantas $ha^{-1}$ da TEC 7849 INTACTA e 210 mil plantas $ha^{-1}$ da AS 3797 IPRO.

## 3.3. Segundo ano de experimentação

### 3.3.1. Caracterização do experimento

No segundo ano, safra 2017/2018, o experimento foi realizado utilizando a espécie *Glycine max* (L.) Merrill com duas variedades cultivadas. O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso, constituído por um fatorial de seis tratamentos por duas variedades cultivadas com quatro repetições (Tabela 3). Cada parcela foi composta por cinco linhas com 7 m de comprimento por 0,6 m entrelinhas, totalizando uma área de 21 $m^2$. Assim a área total do experimento foi de 1008 $m^2$. A área útil de cada parcela foi constituída pelas linhas centrais, descartando 0,5 m em cada extremidade da parcela.

As aplicações dos tratamentos foram realizadas no estádio $V_3$ com pulverizador costal propelido a $CO_2$. Utilizando barra com quatro bicos tipo leque, perfazendo 2,25 m de

comprimento e com pressão de 2 bar. Para todas as aplicações foi utilizado volume de calda de 200 L $ha^{-1}$.

**Tabela 3.** Descrição dos tratamentos. Soja. Safra 2017/2018. Rio Paranaíba, MG. 2018.

| Tratamento | Descrição | Dose | Unidade | Variedade cultivada | Grupo de maturação |
|---|---|---|---|---|---|
| $T_1$ | Controle | - | - | TEC 7849 IPRO | 7.0 |
| $T_2$ | Citocinina | 200 | mg $ha^{-1}$ | | |
| $T_3$ | Lactofen | 300 | mL $ha^{-1}$ | | |
| $T_4$ | Imazetapir | 300 | mL $ha^{-1}$ | | |
| $T_5$ | 2,4-D | 35 | mL $ha^{-1}$ | | |
| $T_6$ | Clorimuron | 35 | mL $ha^{-1}$ | | |
| $T_7$ | Controle | - | - | Brasmax Desafio RR | 7.4 |
| $T_8$ | Citocinina | 200 | mg $ha^{-1}$ | | |
| $T_{19}$ | Lactofen | 300 | mL $ha^{-1}$ | | |
| $T_{10}$ | Imazetapir | 300 | mL $ha^{-1}$ | | |
| $T_{11}$ | 2,4-D | 35 | mL $ha^{-1}$ | | |
| $T_{12}$ | Clorimuron | 35 | mL $ha^{-1}$ | | |

### 3.3.2. Instalação e condução do experimento

Antes da semeadura, foi feita a coleta de amostras de solo da área onde o experimento foi instalado. Com base nos resultados desta análise, foi feito adubação de semeadura com 400 kg $ha^{-1}$ do formulado 02-30-10. Antes da semeadura, as sementes foram tratadas com Co-Mo® Platinum na dose de1,5 mL $kg^{-1}$ de sementes, inoculante Turfa SYS LL-Novozymes na dose de 4 g $kg^{-1}$ de sementes, Nitragin 200 Power na dose de 3,3 mL $kg^{-1}$ de sementes e Standak® Top na dose de 2 mL $kg^{-1}$ de sementes via tratamento industrial. A semeadura foi realizada mecanicamente no dia 1 de novembro de 2017 com a população de plantas de 350 mil plantas $ha^{-1}$ da TEC 7849 IPRO e 350 mil plantas $ha^{-1}$ da Brasmax Desafio RR. Os tratos culturais feitos na área experimental seguem conforme Tabela 4.

**Tabela 4.** Descrição dos tratos culturais, herbicidas, fungicidas e inseticidas, feitos no experimento na safra 2017/2018. Soja. Rio Paranaíba, MG. 2018.

| Operação | Produtos | Dose (kg $ha^{-1}$ ou L $ha^{-1}$) |
|---|---|---|
| Dessecação | Roundup Transrb | 2,5 |
| | Iharol Gold | 1,0 |
| | Disperse Ultra | 0,05 |
| | Heat | 0,08 |
| | Mathomex | 1,0 |
| Herbicida | Zapp QI | 2,5 |
| | Disperse ultra | 0,06 |
| 1° Fungicida e inseticida | Aproach Prima | 0,3 |
| | Score Flexi | 0,15 |
| | Iharol | 0,4 |
| | Disperse Ultra | 0,05 |
| | Nomolt | 0,3 |
| | Spot | 1,0 |
| 2° Fungicida | Orkestra | 0,3 |
| | Unizeb Gold | 1,5 |
| | Iharol | 0,5 |
| | Disperse ultra | 0,05 |
| | Pirate | 0,8 |
| 3° Fungicida e inseticida | Vessarya | 0,6 |
| | Disperse Ultra | 0,05 |
| | Galil | 0,4 |
| | Unizeb Gold | 1,5 |
| 4° Fungicida e inseticida | Aproach Prima | 0,3 |
| | Galil | 0,4 |
| | Iharol Gold | 0,4 |
| | Unizeb Gold | 1,5 |

## 3.4. Avaliações

### 3.4.1. Avaliações bioquímicas

As avaliações foram realizadas dez dias após a aplicação. Sendo coletados 10 trifólios por parcelas do terço médio, descartando as extremidades das parcelas para realização das avaliações.

#### 3.4.1.1. Obtenção do extrato vegetal

Para estas análises, as amostras foram colocadas e guardadas em sacos plásticos e envolvidas em papel alumínio. Em seguida, foram congeladas em nitrogênio líquido, com a intenção de paralisar todas as reações imediatamente.

As folhas foram maceradas utilizando-se nitrogênio líquido, em seguida foi adicionado 10 mL de tampão de fosfato de potássio 0,1 mol $L^{-1}$ pH 6,8 para a diluição do extrato. As amostras foram transferidas para Eppendorf's e centrifugadas a 10.000 rpm (6.000 g) por 30 min a 4ºC. Ao final, as amostras foram armazenadas a -20ºC para posterior determinação (KAR; MISHRA, 1976).

#### 3.4.1.2. Conteúdo de proteína na folha

Para determinação do teor de proteína na folha foi utilizada a metodologia descrita por Bradford (1976). Utilizou-se 1 mL de solução reativa de Bradford por amostra. Para obtenção da curva padrão de caseína, 100 mg de caseína foram adicionados a 5 mL de água. Logo em seguida, foi adicionado solução de NaOH (0,5 mol $L^{-1}$) até a completa dissolução da caseína. Após ser dissolvido, o volume foi completado para 100 mL com água destilada. A partir desta solução, foi obtida a curva padrão de caseína com base nas concentrações de 0, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 e 1 μg $mL^{-1}$ de caseína e 5 mL do reativo de Bradford. A leitura de absorbância foi realizada em espectrofotômetro a 595 nm.

#### 3.4.1.3. Superóxido dismutase

A enzima Superóxido dismutase (SOD) foi avaliada tendo como base a metodologia proposta por Beauchamp e Fridovich (1971). Durante a preparação dos reagentes, todos os recipientes foram envolvidos com papel alumínio para evitar reação com a luz. Foi adicionado a um tubo de ensaio 2000 μL de tampão de fosfato de sódio 50 mmol $L^{-1}$ pH 7,8, 30 μL de extrato enzimático, 450 μL de solução de *Nitroblue Tetrazolium* (NBT) + EDTA (5:4) e 500 μL de solução de Metionina + Riboflavina (1:1). Todas as amostras foram avaliadas em duplicata, sendo que, depois do preparo do sistema de reação, uma das amostras foi exposta a luz durante 10 minutos, sem o papel alumínio, e a outra permanecerá com o papel alumínio. Após esse período foram realizadas leituras de absorbância a 560 nm em espectrofotômetro.

#### 3.4.1.4. Catalase

Para a determinação da atividade da catalase (CAT), foram colocados em um tubo de ensaio 950 μL de tampão fosfato de sódio 50 mmol $L^{-1}$ (pH 7,0) + $H_2O_2$ 12,5 mmol $L^{-1}$ e 50

μL de extrato enzimático, resultando em um volume final de 1 mL. As leituras de absorbância foram realizadas a 240 nm, e foram avaliadas durante 80 segundos, para que ocorrera a estabilização da reação. As leituras deverão ser realizadas com luz ultravioleta, e com a luz visível apagada. Além disso, foram utilizadas cubetas de quartzo, pois estas permitem uma melhor leitura nestas condições de avaliação. Para os cálculos da atividade da enzima foi utilizado o coeficiente de extinção molar do $H_2O_2$ de 39,4 mmol $L^{-1}$ $cm^{-1}$. A atividade da catalase foi expressa em nmol de $H_2O_2$ consumido $min^{-1}$ $mg^{-1}$ proteína (PEIXOTO et al., 1999).

#### 3.4.1.5. Peroxidase

A atividade da peroxidase (POD) foi determinada de acordo com as condições citadas no trabalho de Teisseire e Guy (2000). Para isso, foi adicionado a um tubo de ensaio 500 μL de tampão fosfato de potássio, 50 mmol $L^{-1}$ (pH 6,5), 30 μL de extrato enzimático, 250 μL de pirogalol (1,2,3-benzenotriol), (20 mmol $L^{-1}$) e 220 μL de peróxido de hidrogênio ($H_2O_2$) (5 mmol $L^{-1}$), totalizando um volume de 1 mL. Os tubos de ensaio foram deixados a temperatura ambiente por cinco minutos. Após tal período, a formação de purpurogalina, que apresenta coloração arroxeada foi medida em espectrofotômetro UV-visível a 430 nm. Para o cálculo da atividade da enzima foi utilizado o coeficiente de extinção molar de 2,5 mmol $L^{-1}$ $cm^{-1}$, sendo a atividade expressa em μmol [purpurogalina] $min^{-1}$ $mg^{-1}$ [proteína].

#### 3.4.1.6. Peróxido de hidrogênio

O conteúdo de peróxido de hidrogênio foi determinado por meio da reação com iodeto de potássio (KI), segundo Alexieva et al. (2001). Em meio ácido, o iodeto de potássio reage com o peróxido de hidrogênio, liberando iodo e água, formando um composto de coloração laranja-avermelhada. Para esta determinação, foi usado a extração do material vegetal, em que 200 mg de folhas foram maceradas com 1 mL de TCA 0,1%. Após homogeneização as amostras foram transferidas para tubos e centrifugadas a 9700 rpm por 15 minutos a 4ºC. Do sobrenadante foi retirado 200 µL e adicionado 200 µL de tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 7,5) e 800 µL de solução 1 M de KI. O branco consiste na mesma mistura descrita acima, porém, ao invés do sobrenadante da amostra, coloca-se 200 µL de TCA 0,1%. Os tubos com a reação foram colocados em gelo e permaneceram no escuro

durante uma hora. A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 390 nm e a quantidade de $H_2O_2$ é expressa em µmol $g^{-1}$ de matéria fresca.

#### 3.4.1.7. Peroxidação de lipídios

Foi determinada de acordo com a técnica de Heath e Packer (1968). Material vegetal (200 mg) liofilizado em nitrogênio líquido foi homogeneizado em 5 mL de solução contendo ácido tiobarbitúrico (TBA) 0,25% e ácido tricloroacético (TCA) 10%. Em seguida, o conteúdo foi transferido para tubos de ensaio com rosca e papel filme, e incubado em banho Maria a 90ºC por 1 h. Após resfriamento, o homogeneizado foi centrifugado a 10.000 x g por 15 minutos a temperatura ambiente, e, em seguida, o sobrenadante coletado de cada amostra foi submetida a leituras de absorbância em espectrofotômetro na faixa de 560 e 600 nm. Os resultados são expressos em nmol de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) por grama de matéria fresca.

### 3.4.2. Avaliações fenométricas

#### 3.4.2.1. Massa de matéria seca de haste, folhas e vagens

As determinações de massa de matéria seca de haste, folha e órgãos reprodutivos foi realizada no estádio $R_6$, conforme a classificação de Fehr e Caviness (1997). As determinações de massa de matéria seca foram realizadas utilizando quatro plantas para cada repetição. Cada órgão da planta foi separado e acondicionado em sacos de papel sendo a secagem destes realizada utilizando-se o método padrão de secagem em estufa com circulação de ar forçada e com temperatura de 65ºC, até peso constante.

#### 3.4.2.2. Número de nós e ramos laterais

No estádio $R_6$ foram coletadas quatro plantas na área útil de cada parcela para contabilização do número de nós reprodutivos da haste principal no primeiro ano de experimentação. Também foi contabilizado o número de ramos laterais em ambos os anos de experimentação.

#### 3.4.2.3. Número de vagens

Antes da colheita das plantas, no estádio reprodutivo $R_6$, foram contabilizado o número total de vagens. Para isso, foram coletadas quatro plantas para cada unidade experimental. Esta avaliação foi realizada apenas no segundo ano de experimentação.

#### 3.4.2.4. Produtividade

Foi colhida manualmente a área útil de cada repetição e quantificado o valor da massa das mesmas. Para pesagem dos grãos foi usado balança digital com precisão de 0,01 g. Após a pesagem a umidade dos grãos foi corrigida para 13%.

### 3.4.3. Análise estatística

Os dados dos parâmetros avaliados foram submetidos à normalidade e homogeneidade por meio do teste Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente. Posteriormente, foi realizada análise fatorial por meio da análise da variância e, quando significativa, foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

# 4. RESULTADO E DISCUSSÃO

## 4.1. Primeiro ano de experimentação

### 4.1.1. Superóxido dismutase

Dentre as duas variedades cultivadas utilizadas, de modo geral, a variedade cultivada TEC 7849 IPRO teve valores da atividade da SOD menores quando comparados a variedade cultivada AS 3797 IPRO (Tabela 5). Estes resultados podem estar ligados a diferença dos materiais genéticos a resposta aos danos.

Já ao analisar os tratamentos dentro das variedades cultivadas, para a AS 3797 IPRO, os maiores destaques estão para o tratamento com aplicação de 2,4-D e o controle que foram estatisticamente superiores aos demais. Isto demonstra que a ação do herbicida pode levar à superexpressão dos genes que induzem a biossíntese de ABA e etileno, hormônios que induzem a planta a senescência e a morte, que por sua vez promovem a produção de ERO (SONG, 2014). Como supracitado, para se defender do radical livre formado a planta induz a produção da enzima responsável pela sua degradação sendo a primeira delas a SOD. O resultado mais baixo e deferente estatisticamente dos demais foi o que recebeu aplicação de citocinina. Na variedade cultivada TEC 7849 IPRO, não houve diferença estatística entre os tratamentos.

A SOD é a primeira linha de defesa enzimática das plantas contra o estresse gerado pelos radicais livres. Esta enzima é responsável pela degradação do radical superóxido ($O_2^-$) em peróxido de hidrogênio ($H_2O_2$). O radical superóxido é resultante da excitação da molécula de oxigênio ($O_2$) seguida da adição de elétrons, este também é considerado a primeira espécie reativa de oxigênio (ERO) formada nas plantas (DAS; ROYCHOUDHURY, 2014). Por atuar degradando o radical livre, quanto mais elevada a atividade enzimática, pressupõe-se que mais elevado era o teor do radical livre nas células das plantas.

**Tabela 5.** Valores médios da atividade de superóxido dismutase (SOD, U µg proteína$^{-1}$) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2016/2017.

| Tratamento | Variedade cultivada | |
|---|---|---|
| | AS 3797 IPRO | TEC 7849 IPRO |
| Controle | 94,24 Aab | 4,54 Ba |
| Citocinina | 38,17 Ac | 10,40 Aa |
| Lactofen | 53,48 Abc | 9,21 Ba |
| Imazetapir | 60,30 Abc | 12,33 Ba |
| 2,4-D | 116,66 Aa | 8,22 Ba |
| Clorimuron | 60,63 Abc | 8,21 Ba |
| CV (%) | 27,86 | |
| DMS (variedade cultivada) | 33,048 | |
| DMS (tratamento) | 49,125 | |

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

### 4.1.2. Catalase

Novamente, de modo geral, a variedade cultivada AS 3797 IPRO obteve resultados para atividade enzimática mais elevada que a variedade cultivada TEC 7849 IPRO logo, manteve o padrão da análise da atividade da SOD. Quanto aos tratamentos não houve diferença estatística entre eles para nenhuma das variedades cultivadas (Tabela 6). Isto mostra que mesmo aplicando herbicidas, potenciais fontes de estresse, a planta não expressou maior atividade da enzima antioxidante para se defender do $H_2O_2$.

A CAT é uma das principais enzimas responsáveis pela degradação do peróxido de hidrogênio gerado na fotorrespiração e na β-oxidação dos ácidos graxos atuando nos peroxissomos e glioxissomos podendo ser encontrada nas mitocôndrias. A enzima converte duas moléculas de peróxido de hidrogênio em uma de água e outra de oxigênio molecular. Ela opera em conjunto com outras peroxidases, entretanto de uma forma que não há gasto energético para a planta (SOFO et al., 2015).

**Tabela 6.** Valores médios da atividade de catalase (µmol $min^{-1}$ $µg^{-1}$ [proteína]) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2016/2017.

| Tratamento | Variedade cultivada | | Média |
|---|---|---|---|
| | AS 3797 IPRO | TEC 7849 IPRO | |
| Controle | 13,60 | 0,91 | 1,50 a |
| Citocinina | 14,20 | 0,79 | 1,62 a |
| Lactofen | 17,87 | 0,87 | 1,87 a |
| Imazetapir | 25,46 | 0,94 | 1,62 a |
| 2,4-D | 37,21 | 1,07 | 1,87 a |
| Clorimuron | 20,68 | 0,90 | 1,37 a |
| Média | 2,70 A | 0,58 B | |
| CV (%) | | 48,49 | |
| DMS (variedade cultivada) | | 0,468 | |
| DMS (tratamento) | | 1,206 | |

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente na linha e letras minúsculas na coluna, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Dados transformados por ln (x+1).

### 4.1.3. Peroxidase

A variedade cultivada AS 3797 IPRO manteve níveis mais elevados da atividade da enzima peroxidase (POD) sendo diferente estatisticamente da variedade cultivada TEC 7849 IPRO, mesmo padrão encontrado para as análises de SOD e CAT. Quanto aos tratamentos não houve diferença estatística entre eles (Tabela 7) também mantendo o padrão encontrado na análise da atividade da CAT, padrão esperado por ambas as enzimas atuarem no mesmo substrato.

As peroxidases atuam nas plantas da mesma forma que a CAT, convertendo duas moléculas de peróxido de hidrogênio em água e oxigênio molecular, contudo as POD precisam de um agente fenólico para agir como cofator de regeneração (MHAMDI et al., 2012). Fisiologicamente a CAT seria mais vantajosa para a planta, porém sua atuação ocorre nos peroxissomos, glioxissomos e mitocôndrias, já as POD tem a atividade concentrada na parede celular e no vacúolo. Nas plantas, há uma gama de POD em muitas isoformas envolvidas em uma série de processos celulares. Algumas delas são constitutivamente expressas, outras estão ligadas à estresse ambiental uma vez que baixas concentrações da enzima estão associadas a estresse mais brandos enquanto que altas concentrações à danos mais severos (BARBOSA et al., 2014).

**Tabela 7.** Valores médios da atividade de peroxidase (POD, µmol [púrpuro galina] $min^{-1}$ $mg^{-1}$[proteína]) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2016/2017.

| Tratamento | Variedade cultivada | | Média |
|---|---|---|---|
| | AS 3797 IPRO | TEC 7849 IPRO | |
| Controle | 4,37 | 0,54 | 2,45 a |
| Citocinina | 2,39 | 0,50 | 1,44 a |
| Lactofen | 2,84 | 0,61 | 1,72 a |
| Imazetapir | 3,15 | 0,73 | 1,94 a |
| 2,4-D | 3,84 | 0,51 | 2,17 a |
| Clorimuron | 3,00 | 0,73 | 1,86 a |
| Média | 3,26 A | 0,60 B | |
| CV (%) | | 37,84 | |
| DMS (variedade cultivada) | | 0,43 | |
| DMS (tratamento) | | 1,10 | |

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente na linha e letras minúsculas na coluna, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

### 4.1.4. Peróxido de hidrogênio

Dentre as duas variedades cultivadas avaliadas a TEC 7849 IPRO obteve teores da ERO superior estatisticamente à variedade cultivada AS 3797 IPRO (Tabela 8). Relacionando este dado com as enzimas antioxidantes CAT e POD em que esta variedade cultivada teve valores mais elevados que TEC 7849 IPRO, pode se inferir que a planta não investiu na degradação do $H_2O_2$ como na variedade cultivada AS 3797 IPRO. E ainda ao relacionar com a atividade da SOD, enzima que libera o ERO na sua rota de atuação, a atividade na variedade cultivada TEC 7849 IPRO, de modo geral, foi inferior a atividade na variedade cultivada AS 3797 IPRO mostrando que o $H_2O_2$ encontrado nas células veio de outras rotas além do estresse como da fotorrespiração e β-oxidação (TAIZ et al., 2017).

Para os tratamentos tem-se o clorimuron e o controle diferente estatisticamente dos demais com os maiores teores da $H_2O_2$. O tratamento com lactofen obteve o menor teor de peroxido de hidrogênio, também se diferindo estatisticamente dos demais.

O peróxido de hidrogênio é uma espécie reativa de oxigênio moderadamente reativa. Seu tamanho pequeno permite que atravesse membranas e migre para organelas diferentes o que faz com que o dano se espalhe pelas células e também de atua como mensageiro do estresse (KÄRKÖNEN; KUCHITSU, 2015). Karuppanapandian et al. (2011) registraram a ação deletéria do $H_2O_2$ por participar da reação formadora do radical hidroxila ($OH^{\cdot}$),

considerado o radical mais reativo e oxidante dentre as ERO, além de ser capaz de inativar algumas enzimas por oxidação do seu grupo tiol.

**Tabela 8.** Valores médios da atividade de peróxido de hidrogênio (µmol $g^{-1}$ [MF]) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2016/2017.

| Tratamento | Variedade cultivada | | Média |
|---|---|---|---|
| | AS 3797 IPRO | TEC 7849 IPRO | |
| Controle | 104,88 | 165,93 | 135,40 a |
| Citocinina | 95,68 | 140,52 | 118,10 ab |
| Lactofen | 81,03 | 99,21 | 90,11 b |
| Imazetapir | 79,19 | 150,91 | 115,04 ab |
| 2,4-D | 109,32 | 125,52 | 117,41 ab |
| Clorimuron | 125,87 | 160,68 | 143,27 a |
| Média | 99,32 B | 140,46 A | |
| CV (%) | | 23,17 | |
| DMS (variedade cultivada) | | 16,317 | |
| DMS (tratamento) | | 42,012 | |

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente na linha e letras minúsculas na coluna, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

### 4.1.5. Peroxidação de lipídios

Na Tabela 9 tem se os valores da peroxidação lipídica em que ao analisar as variedades cultivadas nota-se que a TEC 7849 IPRO teve valores superiores estatisticamente a AS 3797 IPRO principalmente nos tratamentos em que houve aplicação dos herbicidas Lactofen, Imazetapir, 2,4-D e Clorimuron. Estes dados corroboram com os dados das análises anteriores de CAT, POD e $H_2O_2$ uma vez que nas duas primeiras os valores foram baixos e na terceira analise foram altos demostrando que mesmo tendo atividade das enzimas, o teor de $H_2O_2$ continuou alto a ponto de gerar dano à planta. Entretanto correlacionando os valores médios da atividade da SOD, desta variedade cultivada com os dados do teor de peroxido de hidrogênio, se nota que os teores foram superiores nesta variedade cultivada mostrando que mesmo a enzima liberando $H_2O_2$ houve outra fonte de produção que acabou por aumentar também o teor de peroxidação lipídica nesta variedade cultivada quando comparada à AS 3797 IPRO. Na variedade cultivada AS 3797 IPRO a tendência foi inversa, mostrando que com a atividade das enzimas antioxidantes altas, o teor de $H_2O_2$ reduz e por consequência o dano reduz.

Analisando os tratamentos dentro das variedades cultivadas para a AS 3797 IPRO não houve diferença estatística entre eles. Na variedade cultivada TEC 7849 IPRO os tratamentos com aplicação dos herbicidas Lactofen, Imazetapir, 2,4-D e Clorimuron, foram estatisticamente superiores aos demais. Estes resultados podem estar relacionados com o mecanismo de ação dos herbicidas que liberam ERO, o que faz com que estas plantas sofram mais danos.

A peroxidação lipídica ocorre após uma série de processos bioquímicos resultantes da ação de ERO sobre os lipídeos insaturados das membranas celulares, gerando o radical alquila, alcoxila e peroxila que levam a destruição da membrana, falência de mecanismos e, em casos extremos, morte celular (LIMA, ABDALLA, 2001). Basicamente, a peroxidação lipídica ocorre com a incorporação de oxigênio aos ácidos graxos poli-insaturados produzindo um hidroperóxido lipídico como produto primário. O processo é dividido em três partes sendo a primeira iniciação, os ácidos graxos poli-insaturados sofrem o ataque da molécula capaz de abstrair um átomo de hidrogênio a partir de um grupo metileno formando um radical de carbono, a segunda é a propagação, o radical é estabilizado formando duas ligações duplas intercaladas por uma ligação simples formando os radicais peroxila e alcoxila, e a terceira etapa é a terminação em que ocorre a aniquilação dos radicais formados originando produtos não radiculares (GARDNER, 1989; HALLIWELL; GUTTERIDGE, 1999).

**Tabela 9.** Valores médios da atividade de peroxidação lipídica (nmol [TBARS] $g^{-1}$ [MF]) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2016/2017.

| Tratamento | Variedade cultivada | |
|---|---|---|
| | AS 3797 IPRO | TEC 7849 IPRO |
| Controle | 72,53 Aa | 65,04 Ab |
| Citocinina | 73,63 Aa | 83,04 Aab |
| Lactofen | 82,24 Ba | 97,72 Aa |
| Imazetapir | 72,82 Ba | 90,75 Aa |
| 2,4-D | 69,96 Ba | 98,80 Aa |
| Clorimuron | 80,83 Ba | 102,79 Aa |
| CV (%) | 11,51 | |
| DMS (variedade cultivada) | 13,657 | |
| DMS (tratamento) | 20,301 | |

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente na linha e letras minúsculas na coluna, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

### 4.1.6. Massa de matéria seca de haste, folhas e vagens

Para massa de matéria seca de haste a diferença entre as variedades cultivadas ocorreu apenas para o tratamento controle, o qual foi superior para a variedade cultivada TEC 7849 IPRO (Tabela 10). Quanto aos tratamentos, na variedade cultivada AS 3797 IPRO todos os tratamentos foram superiores ao controle, sendo que o que recebeu aplicação de citocinina foi o que obteve maior diferença, com um incremento de 126,36 % quando comparado ao controle. Logo a aplicação dos tratamentos aumentou a massa de haste, alterando a arquitetura da planta. A aplicação de citocinina pode ter sido a mais eficiente por ser o hormônio responsável pela diferenciação das gemas laterais o que pode ter contribuído para o aumento da massa de matéria seca de haste.

Na variedade cultivada TEC 7849 IPRO esta diferença não manteve o mesmo padrão, mas o tratamento com aplicação de citocinina foi superior com um incremento de 14,69 % em relação ao controle mostrando que a aplicação do hormônio mudou a arquitetura da planta (Tabela 10).

**Tabela 10.** Valores médios da massa de matéria seca de haste (g planta$^{-1}$) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2016/2017.

| Tratamento | Variedade cultivada | |
|---|---|---|
| | AS 3797 IPRO | TEC 7849 IPRO |
| Controle | 4,59 Bc | 8,98 Aab |
| Citocinina | 10,39 Aa | 10,30 Aa |
| Lactofen | 6,65 Abc | 8,48 Aab |
| Imazetapir | 7,99 Aab | 8,39 Aab |
| 2,4-D | 6,81 Abc | 6,32 Ab |
| Clorimuron | 7,50 Aabc | 8,68 Aab |
| CV (%) | 18,12 | |
| DMS (variedade cultivada) | 2,066 | |
| DMS (tratamento) | 3,071 | |

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente na linha e letras minúsculas na coluna, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Já para os valores de massa de matéria seca de folha houve diferença entre as variedades cultivadas, principalmente nos tratamentos controle e citocinina, em que a variedade cultivada TEC 7849 IPRO foi superior (Tabela 11). Estes resultados podem estar associados à capacidade da variedade cultivada de se recuperar após estresses, como a aplicação dos tratamentos com herbicidas, logo, os tratamentos em que não houve aplicação e

que aplicou o hormônio vegetal, as plantas não tiveram que se recuperar de danos, o que promoveu maior massa de folhas.

Na variedade cultivada AS 3797 IPRO não houve diferença estatística entre os tratamentos. Já na variedade cultivada TEC 7849 IPRO o tratamento com aplicação de citocinina foi superior aos demais. A aplicação de citocinina fez com que as plantas produzissem mais folhas e demorassem mais que os demais tratamentos para começar o processo de senescência, logo, tiveram mais tempo para acumular massa, além de não ter gerado dano direto na planta como a aplicação dos tratamentos com herbicidas.

**Tabela 11.** Valores médios da massa de matéria seca de folha (g planta$^{-1}$) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2016/2017.

| Tratamento | Variedade cultivada | |
|---|---|---|
| | AS 3797 IPRO | TEC 7849 IPRO |
| Controle | 3,67 Ba | 5,86 Aab |
| Citocinina | 5,79 Ba | 7,65 Aa |
| Lactofen | 4,91 Aa | 5,63 Aab |
| Imazetapir | 5,83 Aa | 4,85 Ab |
| 2,4-D | 5,39 Aa | 4,11 Ab |
| Clorimuron | 5,21 Aa | 6,03 Aab |
| CV (%) | 22,93 | |
| DMS (variedade cultivada) | 1,785 | |
| DMS (tratamento) | 2,653 | |

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente na linha e letras minúsculas na coluna, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Os dados de massa de matéria seca de vagens (Tabela 12), de modo geral, apresentaram diferença estatística entre as variedades cultivadas, sendo a variedade cultivada AS 3797 IPRO superior. Como nas análises bioquímicas pode se verificar que esta variedade cultivada sofreu menos danos com a aplicação dos tratamentos, o que pode proporcionar maior disponibilidade de energia destinada para a massa de vagens. Para os tratamentos dentro das variedades cultivadas não houve diferença estatística.

**Tabela 12.** Valores médios da massa de matéria seca de vagem (g planta$^{-1}$) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2016/2017.

| Tratamento | Variedade cultivada | | Média |
|---|---|---|---|
| | AS 3797 IPRO | TEC 7849 IPRO | |
| Controle | 14,63 | 14,88 | 14,75 a |
| Citocinina | 17,31 | 15,13 | 16,21 a |
| Lactofen | 17,31 | 14,38 | 15,84 a |
| Imazetapir | 16,81 | 14,5 | 15,65 a |
| 2,4-D | 17,00 | 16,25 | 16,62 a |
| Clorimuron | 16,44 | 14,38 | 15,40 a |
| Média | 16,58 A | 14,91 B | |
| CV (%) | | 14,16 | |
| DMS (variedade cultivada) | | 1,309 | |
| DMS (tratamento) | | 3,371 | |

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente na linha e letras minúsculas na coluna, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

### 4.1.7. Número de nós e ramos laterais

Na avaliação de número de nós produtivos nas plantas, verificou-se que a variedade cultivada TEC 7948 IPRO teve valores maiores que AS 3797 IPRO resultando em diferenças estatísticas em alguns tratamentos como controle, lactofen e clorimuron (Tabela 13). Esta diferença pode estar associada ao maior porte da variedade cultivada TEC 7948 IPRO e, a aplicação dos tratamentos apenas evidenciou a diferença entre os materiais genéticos.

Dentro os tratamentos, para a variedade cultivada AS 3797 IPRO ocorreu diferença estatística entre o controle com os demais tratamentos, logo, a aplicação dos tratamentos resultou em mudanças na arquitetura das plantas para esta variedade cultivada corroborando com os dados de massa de matéria seca de haste. Já para a TEC 7948 IPRO não apresentou diferença estatística entre os tratamentos.

**Tabela 13.** Valores médios do número de nós (Nn, nós planta$^{-1}$) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2016/2017.

| Tratamento | Variedade cultivada | |
|---|---|---|
| | AS 3797 IPRO | TEC 7849 IPRO |
| Controle | 9,44 Bb | 12,19 Aa |
| Citocinina | 11,50 Aa | 12,00 Aa |
| Lactofen | 11,25 Ba | 12,44 Aa |
| Imazetapir | 11,63 Aa | 12,00 Aa |
| 2,4-D | 11,50 Aa | 11,81 Aa |
| Clorimuron | 11,56 Ba | 12,25 Aa |
| CV (%) | 3,80 | |
| DMS (variedade cultivada) | 0,635 | |
| DMS (tratamento) | 0,945 | |

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente na linha e letras minúsculas na coluna, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Na análise de número de ramificações a TEC 7849 IPRO obteve valores médios superiores a variedade cultivada AS 3797 IPRO (Tabela 14). Esta variedade cultivada apresenta arquitetura de plantas ereta, logo, mesmo com a aplicação dos tratamentos ela ramificou menos.

Quanto aos tratamentos não ocorreu diferença estatística entre eles em nenhuma variedade cultivada.

**Tabela 14.** Valores médios do número de ramificações (Nr, ramificações planta$^{-1}$) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2016/2017.

| Tratamento | Variedade cultivada | | Média |
|---|---|---|---|
| | AS 3797 IPRO | TEC 7849 IPRO | |
| Controle | 2,44 | 4,88 | 3,65 a |
| Citocinina | 3,38 | 4,81 | 4,09 a |
| Lactofen | 3,13 | 4,00 | 3,56 a |
| Imazetapir | 3,50 | 4,63 | 4,06 a |
| 2,4-D | 3,38 | 4,56 | 3,96 a |
| Clorimuron | 4,00 | 4,75 | 4,37 a |
| Média | 3,30 B | 4,60 A | |
| CV (%) | 14,38 | | |
| DMS (variedade cultivada) | 0,333 | | |
| DMS (tratamento) | 0,859 | | |

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente na linha e letras minúsculas na coluna, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

### 4.1.8. Produtividade

Quanto à produtividade, de modo geral a variedade cultivada TEC 7948 IPRO produziu mais que a AS 3797 IPRO evidenciando mais uma diferença genética entre os materiais (Tabela 15).

Para os tratamentos dentro das variedades cultivadas apenas o controle teve médias inferiores que os tratamentos com herbicidas ou hormônio. Logo mesmo ocorrendo danos fisiológicos as plantas e a mudança de arquitetura não sendo tão evidente, a aplicação dos tratamentos incrementou em produtividade.

Correlacionando os dados anteriores com a produtividade na variedade cultivada AS 3797 IPRO, foi observado valores maiores na atividade das enzimas SOD, CAT e POD o que resultou em menor teor de peroxido de hidrogênio e por consequência menor nível de peroxidação lipídica. Nas análises fenométricas apenas a massa de matéria seca de vagem foi superior. Todas estas variáveis resultaram nos incrementos em produtividade de 16,45; 14,36; 10,18; 15,06; 10,22% dos tratamentos com aplicação de citocinina, lactofen, imazetapir, 2,4-D e clorimuron, respectivamente em relação ao controle.

Para a variedade cultivada TEC 7849 IPRO nos resultados das análises enzimáticas POD, CAT e SOD, os valores médios foram muitos inferiores à outra variedade cultivada o que resultou nos teores de $H_2O_2$ e peroxidação lipídica superiores. Nas análises fenométricas para massa de matéria seca de haste e folha e número de nós reprodutivos e ramificações, as médias foram superiores a variedade cultivada AS 3797 IPRO. A alteração na arquitetura da planta foi mais visível nesta variedade cultivada, evidenciando a plasticidade maior na variedade cultivada TEC 7849 IPRO com relação a variedade cultivada AS 3797 IPRO, resultando em incrementos de produtividade de 12,30; 19,23; 20,91; 17,16 e 14,84 % para os tratamentos com aplicação de citocinina, lactofen, imazetapir, 2,4-D e clorimuron, respectivamente em relação ao controle.

Quanto aos tratamentos observou-se que a aplicação de citocinina aumentou a massa de matéria seca de haste e folha na variedade cultivada AS 3797 IPRO, o que repercutiu em produtividade superior ao controle. Entretanto na variedade cultivada TEC 7849 IPRO não houve o aumento em haste, mas a massa de matéria seca de folhas permaneceu elevada, o que resultou no menor incremento em produtividade nos tratamentos aplicados nesta variedade cultivada. Possivelmente o aumento em massa de matéria seca de folha pode ter sombreado as folhas baixeiras da planta reduzindo a taxa fotossintética. Logo mesmo havendo incrementos

em massa de matéria seca de folhas os incrementos na produtividade não foram tão expressivos.

**Tabela 15.** Valores médios de produtividade (P, sc ha$^{-1}$) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2016/2017.

| Tratamento | Variedade cultivada | | Média |
|---|---|---|---|
| | AS 3797 IPRO | TEC 7849 IPRO | |
| Controle | 73,71 | 84,17 | 78,93 b |
| Citocinina | 85,84 | 94,53 | 90,18 a |
| Lactofen | 84,30 | 100,36 | 92,32 a |
| Imazetapir | 81,22 | 101,77 | 91,49 a |
| 2,4-D | 84,81 | 98,62 | 91,71 a |
| Clorimuron | 81,25 | 96,66 | 88,95 a |
| Média | 81,85 B | 96,01 A | |
| CV (%) | | 4,74 | |
| DMS (variedade cultivada) | | 2,475 | |
| DMS (tratamento) | | 6,374 | |

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente na linha e letras minúsculas na coluna, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

## 4.2. Segundo ano de experimentação

### 4.2.1. Superóxido dismutase

Quanto à atividade da SOD, Tabela 16, entre as variedades cultivadas apenas houve diferença entre os controles em que a variedade cultivada TEC 7849 IPRO teve valores menores que a variedade cultivada Brasmax Desafio RR.

Para os tratamentos na variedade cultivada Brasmax Desafio RR não houve diferença estatística entre eles (Tabela 16). Já a variedade cultivada TEC 7849 IPRO o tratamento com aplicação de citocinina teve valores mais elevados o que a tornou diferente estatisticamente dos demais.

**Tabela 16.** Valores médios da atividade da superóxido dismutase (U $\mu g^{-1}$ [proteína]) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2017/2018.

| Tratamento | Variedade cultivada | |
|---|---|---|
| | Brasmax Desafio RR | TEC 7849 IPRO |
| Controle | 23,44 Aa | 9,90 Bb |
| Citocinina | 19,06 Aa | 26,32 Aa |
| Lactofen | 14,31 Aa | 14,24 Ab |
| Imazetapir | 15,59 Aa | 12,03 Ab |
| 2,4-D | 14,96 Aa | 10,74 Ab |
| Clorimuron | 18,29 Aa | 19,87 Aab |
| CV (%) | 21,22 | |
| DMS (variedade cultivada) | 7,433 | |
| DMS (tratamento) | 11,049 | |

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente na linha e letras minúsculas na coluna, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

### 4.2.2. Catalase

Na análise da atividade da enzima catalase, a variedade cultivada Brasmax Desafio RR teve valores maiores que a variedade cultivada TEC 7849 IPRO exceto para o tratamento controle em que o resultado foi inverso (Tabela 17).

O resultado para os tratamentos na variedade cultivada Brasmax Desafio RR, teve o tratamento com aplicação de 2,4-D superior estatisticamente dos demais com um aumento de 99,72 % em relação ao controle. Já para a variedade cultivada TEC 7849 IPRO o tratamento controle foi o teve o maior valor.

**Tabela 17.** Valores médios da atividade da catalase (µmol $min^{-1}$ $µg^{-1}$ [proteína]) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2017/2018.

| Tratamento | Variedade cultivada | |
|---|---|---|
| | Brasmax Desafio RR | TEC 7849 IPRO |
| Controle | 58,71 Bb | 93,77 Aa |
| Citocinina | 60,80 Ab | 52,56 Ab |
| Lactofen | 59,40 Ab | 29,76 Bb |
| Imazetapir | 71,88 Ab | 36,33 Bb |
| 2,4-D | 117,26 Aa | 48,88 Bb |
| Clorimuron | 65,81 Ab | 28,77 Bb |
| CV (%) | 19,39 | |
| DMS (variedade cultivada) | 16,828 | |
| DMS (tratamento) | 25,015 | |

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente na linha e letras minúsculas na coluna, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

### 4.2.3. Peroxidase

Na avaliação da atividade da enzima POD (Tabela 18), não obteve diferença estatística entre as variedades cultivadas e nem entre os tratamentos dentro das variedades cultivadas.

**Tabela 18.** Valores médios da atividade da peroxidase (POD, µmol purpuro galina $min^{-1}$ mg $proteína^{-1}$) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2017/2018.

| Tratamento | Variedade cultivada | | Média |
|---|---|---|---|
| | Brasmax Desafio RR | TEC 7849 IPRO | |
| Controle | 2,25 | 2,11 | 2,17 a |
| Citocinina | 1,75 | 2,11 | 1,92 a |
| Lactofen | 2,10 | 2,15 | 2,12 a |
| Imazetapir | 1,95 | 1,67 | 1,81 a |
| 2,4-D | 2,09 | 1,68 | 1,88 a |
| Clorimuron | 2,00 | 2,06 | 2,03 a |
| Média | 2,02 A | 1,96 A | |
| CV (%) | 14,77 | | |
| DMS (variedade cultivada) | 0,173 | | |
| DMS (tratamento) | 0,445 | | |

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente na linha e letras minúsculas na coluna, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

### 4.2.4. Peróxido de hidrogênio

Para o teor de $H_2O_2$, a variedade cultivada Brasmax Desafio RR foi estatisticamente inferior que a variedade cultivada TEC 7849 IPRO, exceto no tratamento com aplicação de Imazetapir em que o resultado foi inverso (Tabela 19).

Os resultados para os tratamentos dentro da variedade cultivada Brasmax Desafio RR, têm-se o Imazetapir com o maior teor e sendo diferente dos demais, possivelmente está ligado ao mecanismo de ação do herbicida. Já os tratamentos com aplicação de citocinina e 2,4-D também foram estatisticamente diferentes com os menores teores. Na variedade cultivada TEC 7849 IPRO os tratamentos com aplicação 2,4-D e lactofen foram os superiores estatisticamente que os demais.

**Tabela 19.** Valores médios do peróxido de hidrogênio (µmol $g^{-1}$ [MF]) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2017/2018.

| Tratamento | Variedade cultivada | |
|---|---|---|
| | Brasmax Desafio RR | TEC 7849 IPRO |
| Controle | 33,19 Bb | 64,40 Aab |
| Citocinina | 17,21 Bc | 58,70 Ab |
| Lactofen | 24,81 Bbc | 69,93 Aa |
| Imazetapir | 62,72 Aa | 25,80 Bc |
| 2,4-D | 20,30 Bc | 71,43 Aa |
| Clorimuron | 23,92 Bbc | 65,43 Aab |
| CV (%) | 10,64 | |
| DMS (variedade cultivada) | 6,861 | |
| DMS (tratamento) | 10,199 | |

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente na linha e letras minúsculas na coluna, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

### 4.2.5. Peroxidação de lipídios

Os resultados da avaliação de peroxidação lipídica (Tabela 20) a variedade cultivada Brasmax Desafio RR teve medias superiores à variedade cultivada TEC 7849 IPRO nos tratamentos com aplicação de lactofen, 2,4-D e imazetapir. Este corresponde com os apresentados anteriormente em que esta variedade cultivada teve o teor $H_2O_2$ superior que a TEC 7849 IPRO no tratamento com imazetapir o que resultou em dano. Além disto a planta não investiu na produção das enzimas antioxidantes avaliadas, SOD, CAT e POD que poderiam ter reduzido os danos.

Para os tratamentos na variedade cultivada Brasmax Desafio RR, a aplicação de lactofen foi responsável pelo maior dano entre os tratamentos. No seu mecanismo de ação o lactofen libera a ERO oxigênio singlet e como as plantas não investiram nas enzimas de degradação desta ERO o dano ocorreu (SILVA et al., 2017). Este comportamento se repetiu na variedade cultivada TEC 7849 IPRO, mas o tratamento com maior dano foi o com aplicação de 2,4-D.

**Tabela 20.** Valores médios da peroxidação lipídica (nmol [TBARS] $g^{-1}$ [MF]) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2017/2018.

| Tratamento | Variedade cultivada | |
|---|---|---|
| | Brasmax Desafio RR | TEC 7849 IPRO |
| Controle | 39,31 Bbc | 46,46 Ac |
| Citocinina | 38,98 Bc | 46,69 Abc |
| Lactofen | 54,75 Aa | 42,79 Bcd |
| Imazetapir | 48,50 Aa | 35,83 Bd |
| 2,4-D | 47,06 Bab | 54,95 Aa |
| Clorimuron | 47,93 Ba | 54,28 Aab |
| CV (%) | 7,83 | |
| DMS (variedade cultivada) | 5,864 | |
| DMS (tratamento) | 5,233 | |

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente na linha e letras minúsculas na coluna, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

### 4.2.6. Massa de matéria seca de haste, folhas e vagens

Na avaliação fenométrica de massa seca de haste a variedade cultivada Brasmax Desafio RR foi inferior à TEC 7849 IPRO no tratamento controle e com aplicação de lactofen (Tabela 21) mostrando que a variedade cultivada Brasmax Desafio RR não investiu em haste mesmo com os estimulo do herbicida inibidor da protox. Porem para os outros tratamentos houve mudança na arquitetura uma vez que foram superiores ao controle.

Quanto aos tratamentos, na variedade cultivada Brasmax Desafio RR, aqueles que acumularam maiores massas foram os com aplicação de citocinina e imazetapir. Novamente a aplicação de citocinina aumentou a massa de matéria seca de haste mudando a arquitetura das plantas. Para a variedade cultivada TEC 7849 IPRO, o tratamento com aplicação de lactofen foi estatisticamente superior aos demais.

**Tabela 21.** Valores médios da massa de matéria seca de haste (MSh, g planta$^{-1}$) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2017/2018.

| Tratamento | Variedade cultivada | |
|---|---|---|
| | Brasmax Desafio RR | TEC 7849 IPRO |
| Controle | 7,87 Bbc | 9,21 Ab |
| Citocinina | 8,91 Aa | 8,74 Ab |
| Lactofen | 7,78 Bab | 10,98 Aa |
| Imazetapir | 9,04 Aa | 9,57 Ab |
| 2,4-D | 8,73 Acd | 8,91 Ab |
| Clorimuron | 6,89 Ad | 6,78 Ac |
| CV (%) | 5,07 | |
| DMS (variedade cultivada) | 0,628 | |
| DMS (tratamento) | 0,933 | |

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente na linha e letras minúsculas na coluna, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Na massa de matéria seca de folha a variedade cultivada Brasmax Desafio RR foi superior estatisticamente que TEC 7849 IPRO nos tratamentos controle e com aplicação de lactofen enquanto que a variedade cultivada Brasmax Desafio RR foi superior nos tratamentos com aplicação de citocinina e 2,4-D (Tabela 22).

Para os tratamentos na variedade cultivada Brasmax Desafio RR os tratamentos controle e com aplicação de citocinina tiveram medias superiores. Na variedade cultivada TEC 7849 IPRO o tratamento com aplicação de citocinina foi novamente superior aos demais. Este padrão de resposta da citocinina em aumentar massa de folhas pode estar relacionado com o hormônio retardar o processo de senescência nas folhas dando a elas mais tempo para crescer antes relocar os nutrientes para o fruto como foi proposto por Gan e Amasino (1995) (Anexos A e B).

**Tabela 22.** Valores médios da massa de matéria seca de folha (MSf, g planta$^{-1}$) referentes aos diferentes tratamentos e variedade cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2017/2018.

| Tratamento | Variedade cultivada | |
|---|---|---|
| | Brasmax Desafio RR | TEC 7849 IPRO |
| Controle | 4,63 Aa | 3,91 Bc |
| Citocinina | 4,71 Ba | 9,79 Aa |
| Lactofen | 4,03 Aab | 3,23 Bc |
| Imazetapir | 4,21 Aab | 3,82 Ac |
| 2,4-D | 4,04 Bab | 5,12 Ab |
| Clorimuron | 3,73 Ab | 3,98 Ac |
| CV (%) | 9,32 | |
| DMS (variedade cultivada) | 0,550 | |
| DMS (tratamento) | 0,818 | |

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente na linha e letras minúsculas na coluna, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Para massa de matéria seca de vagem a variedade cultivada TEC 7849 IPRO foi superior estatisticamente à variedade cultivada Brasmax Desafio RR (Tabela 23).

Nos tratamentos o que recebeu aplicação de 2,4-D diferiu estatisticamente dos demais na variedade cultivada Brasmax Desafio RR. Já na variedade cultivada TEC 7849 IPRO apenas os tratamentos controle e com aplicação de clorimuron foram inferiores estatisticamente dos demais.

**Tabela 23.** Valores médios da massa de matéria seca de vagem (MSv, g planta$^{-1}$) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2017/2018.

| Tratamento | Variedade cultivada | |
|---|---|---|
| | Brasmax Desafio RR | TEC 7849 IPRO |
| Controle | 15,87 Bab | 18,14 Ab |
| Citocinina | 14,14 Bbc | 22,84 Aa |
| Lactofen | 12,68 Bc | 23,80 Aa |
| Imazetapir | 14,76 Babc | 21,43 Aa |
| 2,4-D | 16,98 Ba | 22,60 Aa |
| Clorimuron | 12,37 Bc | 18,05 Ab |
| CV (%) | 7,17 | |
| DMS (variedade cultivada) | 1,837 | |
| DMS (tratamento) | 2,731 | |

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula não difere estatisticamente na linha e letras minúsculas na coluna, pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

### 4.2.7. Número de ramos laterais

No número de ramos laterais a variedade cultivada TEC 7849 IPRO foi de modo geral superior estatisticamente à variedade cultivada Brasmax Desafio RR (Tabela 24). A variedade cultivada TEC 7849 IPRO tem a capacidade de alterar sua morfologia e seus componentes de produção, a plasticidade fenotípica da cultura (BALBINOT JUNIOR et al., 2015), maior que a variedade cultivada Brasmax Desafio RR que respondeu menos as mudanças de arquitetura.

Quanto aos tratamentos não houve diferença estatística entre eles para nenhuma variedade cultivada.

**Tabela 24.** Valores médios do número de ramificações (Nr, ramificações planta$^{-1}$) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2017/2018.

| Tratamento | Variedade cultivada | | Média |
|---|---|---|---|
| | Brasmax Desafio RR | TEC 7849 IPRO | |
| Controle | 3,25 | 6,00 | 4,62 a |
| Citocinina | 4,06 | 6,13 | 5,09 a |
| Lactofen | 3,19 | 5,69 | 4,43 a |
| Imazetapir | 4,06 | 5,81 | 4,93 a |
| 2,4-D | 3,88 | 5,88 | 4,87 a |
| Clorimuron | 3,13 | 5,94 | 4,53 a |
| Média | 3,59 B | 5,90 A | |
| CV (%) | 13,92 | | |
| DMS (variedade cultivada) | 0,388 | | |
| DMS (tratamento) | 0,999 | | |

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente na linha e letras minúsculas na coluna, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

### 4.2.8. Número de vagens

Os resultados para número de vagens, de modo geral, a variedade cultivada TEC 7849 IPRO mostrou-se superior estatisticamente que a variedade cultivada Brasmax Desafio RR.

Para os tratamentos não houve diferença estatística entre eles para nenhuma das variedades cultivadas utilizadas.

**Tabela 25.** Valores médios do número de vagens (Nv, vagens planta$^{-1}$) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2017/2018.

| Tratamento | Variedade cultivada | | Média |
|---|---|---|---|
| | Brasmax Desafio RR | TEC 7849 IPRO | |
| Controle | 55,69 | 83,75 | 69,71 a |
| Citocinina | 54,63 | 96,81 | 75,71 a |
| Lactofen | 54,63 | 97,63 | 62,46 a |
| Imazetapir | 60,44 | 85,13 | 72,78 a |
| 2,4-D | 59,75 | 86,44 | 73,09 a |
| Clorimuron | 52,81 | 85,81 | 69,31 a |
| Média | 51,77 B | 89,26 A | |
| CV (%) | | 22,21 | |
| DMS (variedade cultivada) | | 9,197 | |
| DMS (tratamento) | | 23,680 | |

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente na linha e letras minúsculas na coluna, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

### 4.2.9. Produtividade

Com relação à produtividade a variedade cultivada TEC 7849 IPRO teve valores médios superiores a variedade cultivada Brasmax Desafio RR. Correlacionando a produtividade com as demais analises a variedade cultivada TEC 7849 IPRO teve teores de $H_2O_2$ e peroxidação lipídica superiores à outra variedade cultivada e mesmo não tendo valores significantes das enzimas antioxidantes os resultados das análises fenométricas mostraram que ela foi superior para as análises de massa de matéria seca de haste, folha e vagem e número de ramificações e vagens. Ou seja, ainda que existiu dano nas plantas esta variedade cultivada respondeu melhor a aplicação dos tratamentos. Já a variedade cultivada Brasmax Desafio RR apenas foi superior na atividade da catalase. Esta diferença de padrões pode estar ligada a características genéticas de cada material.

Nos tratamentos, para a variedade cultivada Brasmax Desafio RR o tratamento com aplicação de lactofen foi superior aos demais e o padrão se manteve para a variedade cultivada TEC 7849 IPRO. A aplicação de lactofen aumentou discretamente, de modo geral nas duas variedades cultivadas, a massa de matéria seca de haste e folha alterando a arquitetura da planta e possibilitando maior entrada de luz ao longo dossel. Mesmo a atividade das enzimas antioxidantes ter sido menor ou igual aos outros tratamentos o dano sofrido pelas plantas não afetou o rendimento das mesmas.

**Tabela 26.** Valores médios da produtividade (P, sc $ha^{-1}$) referentes aos diferentes tratamentos e variedades cultivadas de soja. Patos de Minas, MG. Safra 2017/2018.

| Tratamento | Variedade cultivada | |
|---|---|---|
| | Brasmax Desafio RR | TEC 7849 IPRO |
| Controle | 97,71 Bab | 112,08 Aabc |
| Citocinina | 95,29 Bab | 104,87 Ac |
| Lactofen | 104,75 Ba | 123,01 Aa |
| Imazetapir | 91,28 Bb | 116,28 Aab |
| 2,4-D | 95,98 Aab | 101,41 Ac |
| Clorimuron | 100,12 Bab | 107,85 Abc |
| CV (%) | 5,10 | |
| DMS (variedade cultivada) | 7,645 | |
| DMS (tratamento) | 11,364 | |

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente na linha e letras minúsculas na coluna, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

## 5. CONCLUSÕES

Em função dos objetivos e dos resultados obtidos, conclui-se que: (i) ocorrem danos na atividade fisiológica das plantas, entretanto a intensidade com que eles ocorrem pode variar com o material genético e com as condições climáticas; e (ii) não há um padrão de resposta entre as variedades cultivadas utilizadas (GM 7.X).

**REFERÊNCIAS**

ABE, J.; ISOBE, N.; MIKATA, K.; NAGAHORI, H. NAITO, Y.; SAJI, H.; ONO, M.; KAWAMURA, S. Flumioxazin metabolism in pregnant animals and cell-based protoporphyrinogen IX oxidase (PPO) inhibition assay of fetal metabolites in various animal species to elucidate the mechanism of the rat-specific developmental toxicity. **Elsevier**, v.339, p.34-41, 2018

ALEXIEVA, V.; SERGIEV, I.; MAPELLI, S.; KARANOV, E. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. **Plant, Cell and Environment**, v.24, p.1337-1344, 2001.

ALLIPRANDINI, L.F.; ABATTI, C.; BERTAGNOLLI, P.F.; CAVASSIM, J.E.; GABE, H.L.; KUREK, A.; MATSUMOTO, M.N.; OLEIVEIRA, M.A.R.; PITOL, C.; PRADO, L.C.; STECKLING, C. Understanding soybean maturity groups in Brazil: environment, cultivar classification, and stability. **Crop Science**, v.49, 2009.

ALSCHER, R.G.; ERTURK, N.; HEATH, L.S. Role of superoxide dismutase (SOD) in controlling oxidative stress in plants. **Journal of Experimental Botany**, v.53, n.372, p.1331-1341, 2002.

ANJUM, N.A.; SHARMA, P.; GILL, S.S.; HASANUZZAMAN, M.; KHAN, E.A.; KACHHAP, K.; MOHAMED, A.A.; THANGAVEL, P.; DEVI, G.D.; VASUDHEVAN, P.; SOFO, A.; KHAN, N.A.; MISRA, A.N.; LUKATKIN, A.S.; SINGH, H.P.; PEREIRA, E.; TUTEJA, N. Catalase and ascorbate peroxidase representative $H_2O_2$-detoxifying heme enzymes in plants. Environmental Science and Pollution Research, Nantes [s.l.], v.23, n.19, p.19002-19029, 2016.

ARAÚJO, S.A.C.; DEMINICIS, B.B. Fotoinibição da fotossíntese. **Revista Brasileira Biociência**, v.7, n.4, p.463-472, 2009.

BALBINOT JUNIOR, A.A.; PROCÓIO, S.O.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C.; PANISON, F. Semeadura cruzada em cultivares de soja com tipo de crescimento determinado. **Semina Ciências Agrárias**, v.36, n.3, p.1215-1226.

BARBERIS, L.R.M.; TRINDADE, M.L.B.; VELINI, E.D. Seleção de genótipos de cana-de-açúcar para acúmulo de protoporfirina IX com uso de herbicidas inibidores da Protox. **Planta Daninha**, v.27, n.4, p.809-814, 2009.

BARBOSA, M.R.; SILVA, M.M.A.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T.R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural,** v.44. n.3, p.453-460, 2014.

BEAUCHAMP C.O., FRIDOVICH I. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. **Analytical Biochemistry**, v.44, p.276-287, 1971.

BERKEN, A.; WITTINGHOFER, A. Structure and function of Rhotype molecular switches in plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.46, p.380-393, 2008.

BOARD, J.E.; ZHANG, W.; HARVILLE, B.G. Yield rankings for soybean cultivars grown in narrow and wide rows with late planting dates. **Agronomy Journal**, v.88, p.240-245, 1996.

BOWLER, C.; VAN MONTAGU, M.; INZÉ, D. Superoxide dismutase and Stress tolerance. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.43, p.83-11, 1992. Disponível em: <http://hortsci.ashspublications.org/content/39/5/983.full.pdf>. Acesso em: 21 Mai. 2017.

BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye-binding. **Analytical Biochemistry**, v.72, p.248-254, 1976.

CANHOTO, J.M. **Biotecnologia vegetal:** da clonagem de plantas à transformação genética. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2017, 405p.

CARVALHO, I.R.; KORCELSKI, C.; PELISSARI, G.; HANUS, A.D.; ROSA, G.M. Demanda hídrica das culturas de interesse agronômico. **Enciclopédia Biosfera,** v.9, n.17, p.969-985, 2013.

CARVALHO, J.M.F.C. **Técnicas de micropropagação.** Campina Grande: Embrapa, 1999, 39p.

CARVALHO, S.J.P.; GONÇALVES NETTO, A. Resistencia de plantas daninhas aos herbicidas inibidores da Protox (grupo E). In: CHRISTOFFOLETI, P.J.; NICOLAI, M. **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas.** 4. ed. Paulínia: HRAC-BR, 2016, Cap.9, p.151-164.

CASAROLI, D.; FAGAN, E.B.; SIMON, J.; MEDEIROS, S.P.; MANFRON, P.A.; DOURADO NETO, D.; JONG VAN LIER, Q.; MÜLLER, L.; MARTIN, T.N. Radiação solar e aspectos fisiológicos na cultura de soja – uma revisão. **Revista da FZVA,** v.14, n.2, p.102-120, 2007.

CHRISTOFFOLETI, P.J.; NICOLAI, M. **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas.** 4. ed., Paulínia: HRAC-BR, 2016, 262p.

CONAB. Companhia Nacional do Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: Grãos. Brasília, 2018, 161 p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_06_08_09_02_48_boletim_graos_junho_2017.pdf>. Acesso em: 3 Abr. 2018.

COSTA, A.S.C. Comparação das características morfológicas, produtividade e principais custos de produção de cultivares superprecoces de soja RR e intacta. 34 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

DAS, K.; ROYCHOUDHURY, A. Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. Frontiers in Environmental Science, [s.l.], v.2, p.1-13, 2014.

DUBEY, R.S. Metal toxicity, oxidative stress and antioxidative defense system in plants. In: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, 2011, Chap.9, p.178-203.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja:** região central do Brasil 2014. Londrina: Embrapa Soja, 2013, 265p.

FAGAN, E.B. **A cultura da soja:** modelo de crescimento e aplicação da estrubirulina piraclostrobina. 2007. 84 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, USP/ESALQ, Piracicaba, 2007.

FAGAN, E.B.; ONO, E.O.; RODRIGUES, J.D.; CHALFUN JÚNIOR, A.; DOURADO NETO, D. Fisiologia Vegetal: reguladores vegetais. São Paulo: Andrei, 2015, 300 p.

FARIAS, J.R.B.; NEPOMUCENO, A.L.; NEUMAIER, N. Ecofisiologia da soja. Londrina: Embrapa, 2007.

FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E. **Stages of soybean development.** Cooperative Extension Service, Agriculture and Home Economics Experiment Station, Iowa State University, 1977, 12p.

FERNEDA, B.G.; BOEING, E.; SILVA, A.C.; SOUZA, A.P.; SILVA, S.G.; MARTIM, C.C.; PALADINO, F.G.; TANAKA, A.A. Graus-dias na estimativa das taxas de crescimento de quatro cultivares de soja em diferentes épocas de plantio. Cuiabá, **Pesquisas Agrárias e Ambientais,** v.4, n.3, p.121-127, 2016.

FERRARI, M.; NARDINO, M.; CARVALHO, I.R.; PELEGRIN, A.J.; BELLE, R.; SZARESKI, V.; MEIRA, D.; CARON, B.O.; SOUZA, V.Q. Hidroretentores: alternativa para maior tolerância ao déficit hídrico na cultura da soja. **Global Science Technology,** v.8, n.3, p.21-29, 2015.

FIOREZE, S.L.; RODRIGUES, J.D.; CARNEIRO, J.P.C.; SILVA, A.A.; LIMA, M.B. Fisiologia e produção da soja tratada com cinetina e cálcio sob déficit hídrico e sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** v.48, n.11, p.1432-1439, 2013.

FIOREZE, S.L.; CARNEIRO, J.P.C.; PINTO, D.D.; RODRIGUES, J.D. Foliar application of calcium and kinetin on soybean at reproductive stage. **Journal of Plant Nutrition**, v.40, n.18, p.2602-2610, 2017.

FIQUEIREDO, M.R.A. **Interação entre os herbicidas 2,4-D e glifosato:** aspectos químicos, bioquímicos e fisiológicos. 2015. 115 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade de São Paulo/Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2015.

FOLONI, J.S.S.; HENNING, F.A.; MERTZ-HENNING, L.M.; PIPOLO, A.E.; MELO, C.L.P. **Lactofen e etefon como reguladores de crescimento de cultivares de soja.** XXXV Reunião de Pesquisa de Soja, p.42-45, 2016

GALLON, M.; BUZZELLO, G.L.; TREZZI, M.M.; DIESEL, F.; SILVA, H.L. Ação de herbicidas inibidores da Protox sobre o desenvolvimento, acamamento e produtividade da soja. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.15, n.3, p.232-240, 2016.

GAN, S.; AMASINO, R.M. Inhibition of leaf of senescence by autoregulated production of cytokinin. **Science**, v. 270, p.1986-1988, 1995.

GARCIA, A. Manejo da cultura da soja para alta produtividade. In: CÂMARA, G.M. S.; ARCOS FILHO, J.; OLIVEIRA, E.A.M. Simpósio sobre cultura e produtividade da soja. **Anais**. Piracicaba, FEALQ, 1992.

GARDNER, H.W. Oxygen radical chemistry of polyunsaturated fatty acid. **Free Radical Biology Medical**, v.7, p.65-86, 1989.

GAVA, R. **Os efeitos do estresse hídrico na cultura da soja (*Glycine Max*, (L.) Merrill).** 2014. 124 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, USP/ESALQ, Piracicaba, 2014.

GRANDIS, A. **Resposta fotossintética e de crescimento de espécie amazônica *Senna reticulata* sob elevada concentração de $CO_2$.** 2010. 137 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Biológicas, Universidade de São Paulo/ Instituto de Biociências, São Paulo, 2010.

HALLIWELL, B.; GUTTERIDGE, J.M.C. **Free radicals in biology and medicine**. New York: Oxford Univesity, 1999, 3. ed, 936p.

HEATH, R.L.; PACKER, L. Photoperoxidation in isolates chloroplasts. **Archives in Biochemistry and Biophysics**, v.125, p.189-198, 1968.

HEIFFIG, L.S. Interação herbicida pós-emergente lactofen e micronutrientes Co e Mo aplicados via foliar na cultura da soja. 2006. 92 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, USP/ESALQ, Piracicaba, 2006.

HESS, F.D. Light-dependent herbicides: an overview. **Weed science**, v. 48, p.160-170, 2000.

HUYGHE, C. Genetics and genetic modifications of plant architecture in grain legumes: a review. **Agronomie,** v.18, p.383-411, 1998.

JOHNSON, B.F.; BAILEY, W.A.; WILSON, H.P.; HOLSHOUSER, D.L.; HERBERT JÚNIOR, A. HINES, T.E. Herbicide effects on visible injury, leaf area, and yield of glyphosate-resistant soybean (*Glycine max*). **Weed Technology**, v.16, p.554-566, 2002.

KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, peroxidase, and polyphenol oxidase activities during rice leaf senescence. **Plant Physiology**, v.57, p.315-319, 1976.

KÄRKÖNEN, A.; KUCHITSU, K. Reactive oxygen species in cell wall metabolism and development in plants. **Phytochemistry**, v.112, p.22-32, 2015.

KARUPPANAPADIAN, T.; MOON, J.C.; KIM, C.; MANOHARAN, K.; KIM, W. Reactive oxygen species in plants: their generation, signal transduction, and scavenging mechanisms. **Australian Journal of Crop Science**, v.5, p.709-725, 2011.

KIM, Y.H.; KWAK, S.S. The role of antioxidant enzymes during leaf development. In: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, 2010, p.129-150.

LIMA, E.S.; ABDALLA, D.S.P. Peroxidação lipídica: mecanismos e avaliação em amostras biológicas. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v.37, p.293-303, 2001.

LOPES, A.L.C. **Cultivo e manejo da soja.** Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC. 2013, 37p.

MARCHI, G.; MARCHI, E.C.S.; GUIMARÃES, T.G.; **Herbicidas:** mecanismos de ação e uso. Embrapa Cerrados, 2008, 1 ed. 34 p.

MHAMDI, A.; NOCTOR, G.; BAKER, A. Plant catalases: peroxisomal redox guardians. **Archives of Biochemistry and Biophysics,** p.181-194, 2012.

MISSÃO, M.R. Soja: origem, classificação, utilização e uma visão abrangente do mercado. **Maringá Management,** v.3, n.1, p.7-15, 2006.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant Science**, Copenhagen, v.7, n.9, p.401-405, 2002.

MITTLER, R. ROS are good. Trends in Plant Science, v.22, n.1, p.11-19, 2017.

MOLDES, C.A. **Resposta de enzimas antioxidantes a aplicação do herbicida glifosato em variedades de soja transgênica e não transgênica**. 2006. 93f. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, CENA/USP, Piracicaba, 2006.

MULLER, L. Taxonomia e morfologia. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. **A soja no Brasil**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1981, p.65-104.

OHYAMA, T.; MINAGAWA, R.; ISHIKAWA, S.; YAMAMOTO, M.; VAN PHI HUAN, N.; OHTAKE, N.; SUEYOSHI, K.; SATO, T.; NAGUMO, Y.; TAKAHASHI, Y. Soybean seed production and nitrogen nutrition. In.: BOARD, J.E. **A comprehensive survey of international soybean research**: genetics, physiology, agronomy and nitrogen relationships. Rijeka: InTech, 2013. p.115-157.

OLIVEIRA JÚNIOR, R.S. Mecanismo de ação de herbicidas. In: OLIVEIRA JÚNIOR, R.S; CONSTANTIN, J.; INOUE, M.H. Biologia e manejo de plantas daninhas. Brasil: Omnipax, 2011, Cap. 7, p.141-193.

PARSONS, P.A. Metabolic efficiency in response to environmental agents predicts hormesis and invalidates the linear no-threshold premise: ionizing radiation as a case study. Critical Reviews in Toxicology, v.33, n.3-4, p.443-449, 2003.

PEIXOTO, P.H.P.; CAMBRAIA, J.; SANT'ANNA, R.; MOSQUIM, P.R.; MOREIRA, M.A. Aluminum effects on lipid peroxidation and on the activities of enzymes of oxidative metabolism in sorghum. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.11, p.137-143, 1999.

PENARIOL, A. **Soja:** cultivares no lugar certo. Informações Agronômicas, 2000, 90p.

PEREIRA, C.S.; RIBEIRO, J.M.; VATULESCU, A.D.; FINDLAY, K.; MACDOUGALL, A.J.; JACKSON, P.A. Extension network formation in *Vitis vinifera* callus cells an essential and casual event in rapid and $H_2O_2$-induced reduction in primary cell wall hydration. **BMC Plant Biology**, v.11, p.106, 2011.

POLLE, A. Dissecting the superoxide dismutase-ascorbate peroxidase-glutathione pathway in chloroplasts by metabolic modeling. Computer simulations as a step towards flux analysis. **Plant Physiology**, v.126, p.445-462, 2001.

PONTES JÚNIOR, V.A. Potencial genético e estabilidade de famílias de feijoeiro-comum obtidas por diferentes métodos de melhoramento. 2012. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.

SALEM, M.A.; KAKANI, V.G.; KOTI, S.; REDDY, K.R. Pollen-based screening of soybean genotypes for high temperatures. **Crop Science**, v.47, p.219-231, 2007.

SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. **Fisiologia de plantas**. 4. ed. São Paulo: Cengage Learing, 2012, 776p.

SEDIYAMA, T. **Tecnologias de produção e usos da soja.** Londrina. Ed. Mecenas, 2009, 314 p..

SEDIYAMA, T.; PEREIRA, M.G.; SEDIYAMA, C.S.; GOMES, J.L.L. Botânica, descrição da planta e cruzamentos artificial. In: **Cultura da Soja** – I Parte. Viçosa: UFV, p. 5-6. 1985.

SILVA, F.C.S. **Influência do tamanho de sementes e de características agronômicas em descritores adicionais de soja**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa. 46p. 2013.

SILVA, G.S.; CASTANHEIRA, D.T.; VOLTOLINI, G.B.; SOUZA, I.F.; GONÇALVES, A.H.; GUIMARÃES, R.J. Sintomas de fitotoxicidade e crescimento de mudas de café submetidas aos herbicidas inibidores da Protox. **Coffee Science**, v.12, n.3, p.290-296, 2017.

SIMEÃO, M. Crescimento e produtividade de grãos de soja sob déficit hídrico no solo. 2015. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal do Piauí, Bom Jesus, 2015.

SOARES, L.H. Alterações fisiológicas e fenométricas na cultura da soja devido ao uso de lactofen, cinetina, ácido salicílico e boro. 2016. 172 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, USP/ESALQ, Piracicaba, 2016.

SOFO, A; SCOPA, A.; NUZZACI, M.; VITTI, A. Ascorbate peroxidase and catalase activities and their genetic regulatuon in plants subjected to drought and salininty stresses. **International Journal of Molecular Sciences**, v.16, p.13561-13578, 2015.

SONG, Y. Insight into the mode of action of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) as herbicide. **Journal of Integrative Plant Biology**, v.56, n.2, p.106-113, 2014.

SOUZA, D.V.; CABRAL, J.B.P.; LOPES, R.M.; REIS, M.A.S.; OLIVEIRA, S.F. Análise pluviométrica da carta topográfica de Patos de Minas referente ao período de 1978 a 2003. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 57, 2005, Fortaleza. **Anais eletrônicos…** São Paulo: SBPC/UECE, 2005. Disponível em: <http://www.sbpcnet.org.br/livro/57ra/>. Acesso em: 5 Jun. 2017.

SWANSON, S.; GILROY, S. ROS in plant development. **Physiologia Plantarum**, v.138, p.384-392. 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.A.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed., Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.

TANAKA, M.; TAKEI, K.; KOJIMA, M.; SAKAKIBARA, H.; MORI, H. Auxin controls local cytokinin biosynthesis in the nodal stem in apical dominance. **The Plant Journal,** v.45, n.6, p.1028-1036, 2006.

TEISSEIRE, H.; GUY, V. Copper-induced changes in antioxidant enzymes activities in fronds of duckweed (*Lemna minor*). **Plant Science**, v.153, p.65-72, 2000.

TRANEL, P.J.; WRIGHT, T.R. Resistance off weeds to ALS inhibiting herbicides: what have we learned? Review. **Weed Science,** v.50, n.6, p.700-712, 2002.

VAL, B.H.P. Estimativas de parâmetros genéticos em linhagens avançadas de soja. 2014. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, 2014.

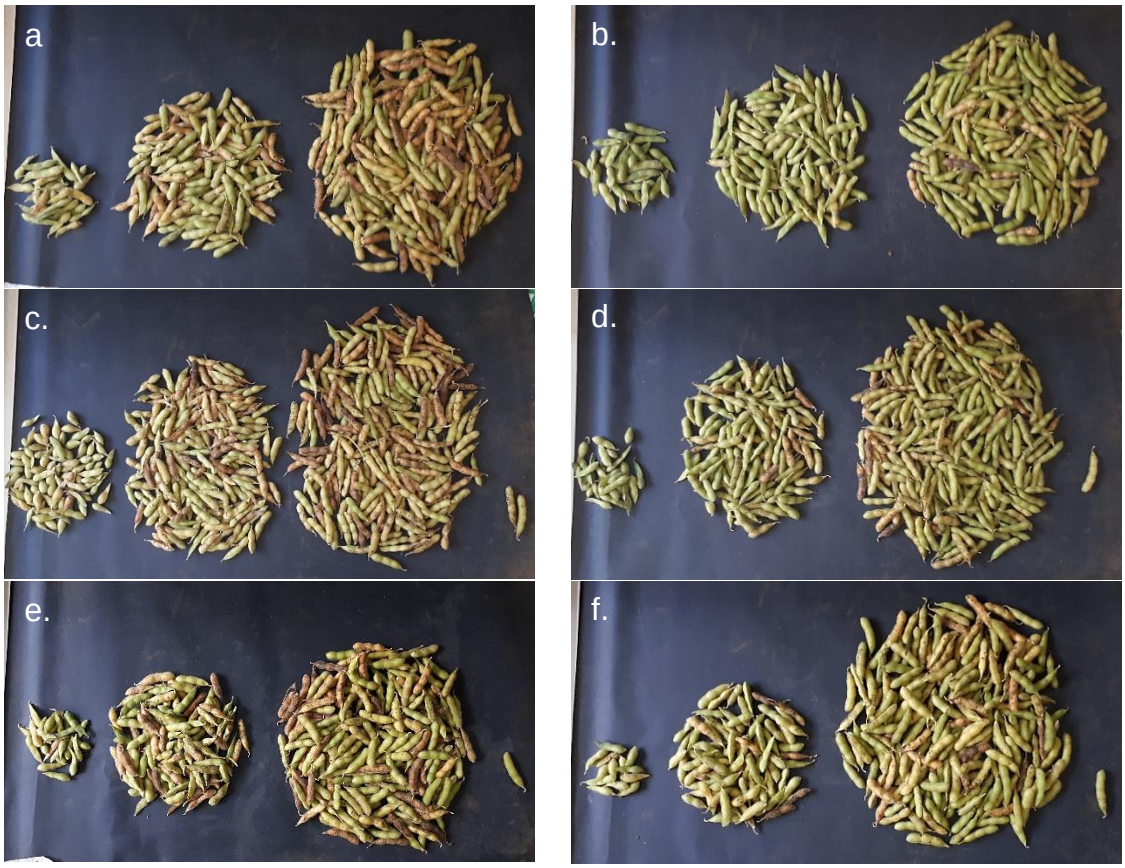
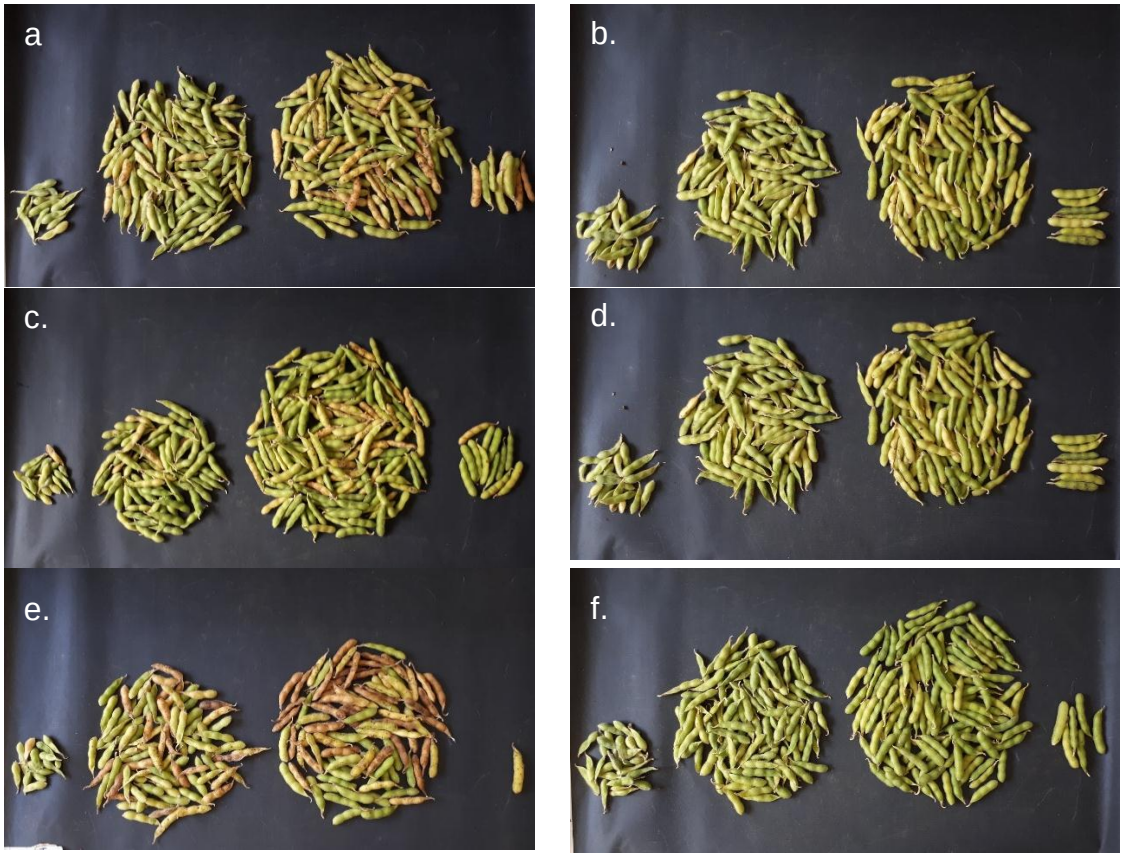
VAN BREUSEGEM, F.; VRANOVÁ, E.; DAT, J.F.; INZÉ, D. The role of active oxygen species in plant signal transduction. **Plant Science**, v.161, p.405-414, 2001.

VAN LOON, L.C. The intelligent behavior of plants. Trends in Plant Science, v.21, n.4, p.286-294, 2016.

VERNETTI, F.J.; VERNETTI JÚNIOR, F.J. **Genética da soja**: caracteres quantitativos e diversidade genética. Brasília. EMBRAPA Informação Tecnologia, 2009, 221p.

# ANEXOS

**ANEXO A.** Visualização das vagens das plantas de soja após o posicionamento dos tratamentos em que a. controle; b. citocinina; c. lactofen; d. imazetapir; e. clorimuron e f. 2,4-D. Imagem referente à avaliação no estádio de desenvolvimento $R_7$ na variedade cultivada TEC 7849 IPRO. Patos de Minas, MG. 2018.



**ANEXO B.** Visualização das vagens das plantas de soja após o posicionamento dos tratamentos (a. controle; b. citocinina; c. lactofen; d. imazetapir; e. clorimuron e f. 2,4-D). Imagem referente à avaliação no estádio de desenvolvimento $R_7$ na variedade cultivada Brasmax Desafio RR. Patos de Minas, MG. 2018.