

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA

DERIVA SIMULADA DE DICAMBA E 2,4-D: EFEITOS
SOBRE A PRODUTIVIDADE E QUALIDADE FISIOLÓGICA
DAS SEMENTES DE SOJA RECÉM-COLHIDAS E
ARMAZENADAS

Autor: Estevam Matheus Costa
Orientador: Prof. Dr. Adriano Jakelaitis

Rio Verde - GO
julho – 2019

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA

DERIVA SIMULADA DE DICAMBA E 2,4-D: EFEITOS
SOBRE A PRODUTIVIDADE E QUALIDADE FISIOLÓGICA
DAS SEMENTES DE SOJA RECÉM-COLHIDAS E
ARMAZENADAS

Autor: Estevam Matheus Costa
Orientador: Prof. Dr. Adriano Jakelaitis

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – Área de concentração Produção Vegetal Sustentável do Cerrado.

Rio Verde - GO
julho – 2019

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

C837d

Costa, Estevam Matheus

Deriva simulada de dicamba e 2,4-d: efeitos sobre a produtividade e qualidade fisiológica das sementes de soja recém colhidas e armazenadas / Estevam Matheus Costa; orientador Adriano Jakelaitis; coorientador Jacson Zuchi; coorientadora Renata Pereira Marques. -- Rio Verde, 2019.

73 p.

Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias -
Agronomia) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2019.

1. Germinação. 2. Glycine max. 3. herbicidas auxínicos. 4. injúria. 5. vigor de sementes. I. Jakelaitis, Adriano, orient. II. Zuchi, Jacson, coorient. III. Marques, Renata Pereira, coorient. IV. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- Tese Artigo Científico
 Dissertação Capítulo de Livro
 Monografia - Especialização Livro
 TCC - Graduação Trabalho Apresentado em Evento
 Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____

Nome Completo do Autor: Estevam Matheus Costa

Matrícula: 2017202310110047

Título do Trabalho: DERIVA SIMULADA DE DICAMBA E 2,4-D: EFEITOS SOBRE A PRODUTIVIDADE E QUALIDADE FISIOLÓGICA DAS SEMENTES DE SOJA RECÉM-COLHIDAS E ARMAZENADAS

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 20/09/2019

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não
O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rua Inade, 60 13/09/2019
Local Data

Estevam Matheus Costa

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

[Assinatura]
Assinatura do(a) orientador(a)

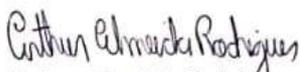
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AGRÁRIAS-AGRONOMIA

DERIVA SIMULADA DE DICAMBA E 2,4-D:
EFEITOS SOBRE A PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE
FISIOLÓGICA DAS SEMENTES DE SOJA RECÉM
COLHIDAS E ARMAZENADAS

Autor: Estevam Matheus Costa
Orientador: Dr. Adriano Jakelaitis

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de
Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

APROVADA em, 19 de julho de 2019.


Dr. Arthur Almeida Rodrigues
Avaliador externo
IF Goiano – Campus Rio Verde


Prof. Dr. Frederico Antônio Loureiro Soares
Avaliador interno
IF Goiano – Campus Rio Verde


Prof. Dr. Adriano Jakelaitis
Presidente da banca
IF Goiano – Campus Rio Verde

Aos meus pais Mauro Edimar Costa e Maria José Rosa;

OFEREÇO

Aos avôs Alzira, Estevam
(*in memoriam*), Julieta (*in memoriam*) e Geraldo (*in memoriam*).

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de mestrado;

Agradeço ao Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, por abrir às portas e fornecer a infraestrutura para o desenvolvimento das atividades;

Agradeço ao orientador Adriano Jakelaitis, pelas orientações sempre pertinentes e por ter acreditado em minha capacidade;

Agradeço aos coorientadores Jacson Zuchi e Renata Pereira Marques, pelas orientações e pela disponibilidade;

Agradeço aos meus pais Mauro e Maria José, às minhas irmãs Thaís, Naiane e Lorena, aos meus cunhados Tiago, Cristian e Iury, à minha tia Marta e demais familiares, por me ajudar em todos os momentos desta caminhada e principalmente nos momentos mais difíceis;

Agradeço aos meus amigos Matheus Vinícius, Moara Mariely, Leandro Pereira, Natielly Marques, Laura Campos, Gustavo Silva, Gustavo Dorneles, Jeovane Nascimento, Carlos Henrique, Leônidas Miclos, Higor Ferreira, Victor Hugo, Bruno Tondato e Laísse Danielle que de forma direta ou indireta contribuíram para o desenvolvimento dessa dissertação.

Agradeço aos membros avaliadores pelas contribuições pertinentes referentes à dissertação.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Estevam Matheus Costa, nascido em Ituiutaba - MG em 27 de setembro de 1993. Concluiu o ensino fundamental na Escola Estadual João Pinheiro e ensino médio na Escola Estadual Governador Israel Pinheiro. Concluiu o curso Técnico em Agroindústria em 2014 no Instituto Federal do Triângulo Mineiro. Graduado em Bacharelado em Agronomia no ano de 2016, na Universidade do Estado de Minas Gerais. Em 2017 ingressou na pós-graduação *Stricto Sensu*, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia. Em julho de 2019, defendeu sua dissertação, parte indispensável para a obtenção do diploma de Mestre em Ciências Agrárias – Agronomia.

ÍNDICE GERAL

	Páginas
ÍNDICE DE TABELAS	vi
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
INTRODUÇÃO GERAL	1
OBJETIVOS.....	6
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	7
CAPÍTULO I – DERIVA SIMULADA DE DICAMBA E 2,4-D EM SOJA: EFEITO DE DOSE E ESTÁGIO DE DESENVOLVIMENTO	11
1.1 Introdução	112
1.2 Material e Métodos.....	13
1.3 Resultados e Discussão	15
1.4 Conclusões	22
1.5 Referências Bibliográficas	22
CAPÍTULO II – DERIVA SIMULADA DE SICAMBA: EFEITOS SOBRE A QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE SOJA	26
2.1 Introdução.....	27
2.2 Material e Métodos.....	28
2.3 Resultados e Discussão	31
2.4 Conclusões	39
2.5 Referências Bibliográficas	39
CAPÍTULO III – DERIVA SIMULADA DE 2,4-D: EFEITOS SOBRE A QUALIDADE FISIOLÓGICA DAS SEMENTES DE SOJA	43
3.1 Introdução.....	44
3.2 Material e Métodos.....	48
3.3 Resultados e Discussão	54
3.4 Conclusões	54
3.5 Referências Bibliográficas	54
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	58

ÍNDICE DE TABELAS

CAPÍTULO I – DERIVA SIMULADA DE DICAMBA E 2,4-D EM SOJA: EFEITO DE DOSE E ESTÁGIO DE DESENVOLVIMENTO

Tabela 1. Injúria nas plantas de soja em resposta da aplicação de dicamba e 2,4-D nos estádios V4 e R2 avaliados aos 7, 14 e 28 dias após a aplicação (DAA)	16
Tabela 2. Altura de planta em resposta da aplicação de Dicamba e 2,4-D nos estádios V4 e R2 avaliados aos 7, 14 e 28 dias após a aplicação (DAA)	18
Tabela 3. Altura Final das plantas de soja no momento da colheita, número de ramos laterais e número de vagens por planta de soja tratadas com quatro doses de dicamba e 2,4-D em aplicadas em 2 estádios de desenvolvimento	19
Tabela 4. Número de grãos por vagem, peso de mil sementes e produtividade da cultura da soja tratada com quatro doses de Dicamba e 2,4-D em aplicadas em 2 estádios de desenvolvimento	21

CAPÍTULO II - DERIVA SIMULADA DE DICAMBA: EFEITOS SOBRE A QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE SOJA

Tabela 1. Porcentagem de germinação (G) e primeira contagem de germinação (PCG) de sementes de soja submetidas às subdoses de dicamba aplicadas em V ₄ e R ₂ nas avaliações realizadas após a colheita da cultura e após seis meses de armazenamento	32
Tabela 2. Envelhecimento acelerado (EA) e comprimento de plântula (CP) de sementes de soja submetidas às subdoses de dicamba aplicadas em V ₄ e R ₂ nas avaliações realizadas após a colheita da cultura e após seis meses de armazenamento	34

Tabela 3. Índice de velocidade de emergência (IVE) e porcentagem de emergência (E) de sementes de soja submetidas às subdoses de dicamba aplicadas em V₄ e R₂ nas avaliações realizadas após a colheita da cultura e após seis meses de armazenamento.....36

Tabela 4. Condutividade elétrica (CE) de sementes de soja submetidas às subdoses de dicamba aplicadas em V₄ e R₂ nas avaliações realizadas após a colheita da cultura e após seis meses de armazenamento 38

CAPÍTULO III - DERIVA SIMULADA DE 2,4-D: EFEITOS SOBRE A QUALIDADE FISIOLÓGICA DAS SEMENTES DE SOJA

Tabela 1. Porcentagem de germinação (G) e primeira contagem de germinação (PCG) de sementes de soja submetidas às subdoses de 2,4-D aplicadas em V₄ e R₂ nas avaliações realizadas após a colheita da cultura e após seis meses de armazenamento 49

Tabela 2. Envelhecimento acelerado (EA) e condutividade elétrica (CE) de sementes de soja submetidas às subdoses de 2,4-D aplicadas em V₄ e R₂ nas avaliações realizadas após a colheita da cultura e após seis meses de armazenamento 51

Tabela 3. Índice de velocidade de emergência (IVE) e porcentagem de emergência (PE) de sementes de soja submetidas às subdoses de 2,4-D aplicadas em V₄ e R₂ nas avaliações realizadas após a colheita da cultura e após seis meses de armazenamento 53

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

Símbolo / Sigla	Significado	Unidade de Medida
g	gramas	
ea	Equivalente ácido	
ha	Hectare	
V ₄	Fase fenológica	
R ₂	Fase fenológica	
%	Porcentagem	
°C	Graus Celsius	
ABA	Ácido abscísico	
mPa	Megapascal	
AIA	Ácido indolacético	
v.	Volume	
n.	Número	
pp	Pontos percentuais	
m	Metros	
mm	Milímetros	
pH	Potencial hidrogeniônico	
m ²	Metros quadrados	
CO ₂	Dióxido de carbono	
L	Litros	
DAA	Dias após a aplicação	
cm	Centímetros	
CV	Coefficiente de variação	%
PMS	Peso de mil sementes	g
GO	Goiás	
S	Sul	
W	Oeste	
BOD	Biochemical Oxygen Demand	
UR	Umidade relativa	%
RAS	Regras para Análises de Sementes	
CE	Condutividade elétrica	μS cm ⁻¹ g ⁻¹
G	Germinação	%
IVE	Índice de Velocidade de Emergência	
E	Emergência	%
EA	Envelhecimento Acelerado	%
CP	Comprimento de plântula	cm
MMS	Massa de matéria seca	g
PE	Porcentagem de Emergência	%

RESUMO

COSTA, ESTEVAM MATHEUS. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, julho de 2019. **Deriva simulada de dicamba e 2,4-d: efeitos sobre a produtividade e qualidade fisiológica das sementes de soja recém colhidas e armazenadas.** Orientador: Dr. Adriano Jakelaitis. Coorientadores: Dr. Jacson Zuchi; Dr.^a Renata Pereira Marques

Com a comercialização de cultivares de soja transgênica com genes que lhe conferem tolerância aos herbicidas dicamba e 2,4-D, haverá incremento nas alternativas de herbicidas que podem ser usados como parte de um programa de manejo de plantas resistentes aos herbicidas comumente utilizados. No entanto, com a maior utilização destes herbicidas, aumenta-se também os riscos referentes aos problemas de deriva, visto que, tanto o dicamba, quanto o 2,4-D possuem moléculas pequenas que volatilizam com facilidade e provocam danos em culturas sensíveis mesmo em doses extremamente baixas. Objetivou-se avaliar os efeitos de subdoses dos herbicidas dicamba e 2,4-D sobre a cultura da soja e sobre a qualidade fisiológica das sementes após a colheita e após seis meses de armazenamento. Foram conduzidos dois experimentos, cada um contendo um herbicida, dicamba ou 2,4-D, sob esquema fatorial duplo de $4 \times 2 + 1$, sendo quatro subdoses (0,028, 0,28, 2,8 e 28 g ea ha⁻¹), aplicados em dois estágios fenológicos (V₄ e R₂) mais um tratamento testemunha. Avaliou-se as injúrias geradas pelos herbicidas nas plantas de soja e os componentes de produção da cultura, além da qualidade fisiológica das sementes, através de testes de germinação e vigor, como a primeira contagem de germinação, a condutividade elétrica, porcentagem de emergência, o índice de velocidade de emergência, logo após a colheita e após o período de armazenamento. A deriva simulada de dicamba provocou danos na cultura da soja, afetando o desenvolvimento vegetativo e a produtividade, enquanto o 2,4-D não provocou injúrias de maneira

significativa, não reduzindo os componentes de produção. As subdoses de dicamba aplicadas no estágio V₄ provocou injúrias de até 41%, enquanto em R₂ as injúrias chegaram a 70%. A altura das plantas reduziu em até 61 pontos percentuais pelas subdoses de dicamba. A produtividade da soja em 29 e 76 pontos percentuais, quando a deriva simulada ocorreu nos estádios V₄ e R₂, respectivamente e na dose de 28 g ea ha⁻¹. Na dose de 28 g ea ha⁻¹ de dicamba, aplicados em V₄ e R₂, houve redução da germinação das sementes recém colhidas em 15 e 42%, respectivamente. Após o armazenamento, as sementes do tratamento com 28 g ha⁻¹ de dicamba apresentaram germinação 64% menor se comparado com a menor dose avaliada e a condutividade elétrica duplicou em relação à testemunha. Para o índice de velocidade de emergência, e para a porcentagem de emergência das sementes após o armazenamento, houve redução em função da interação entre subdoses e estágio de aplicação, sendo os tratamentos que receberam a aplicação de 2,8 e 28 g ea ha⁻¹ aqueles com menor desempenho. As subdoses de dicamba provocaram injúrias e reduziram a produtividade, enquanto as subdoses de 2,4-D não provocaram injúrias e não afetaram na produtividade da cultura da soja. As sementes de soja têm sua qualidade fisiológica reduzida por subdoses de dicamba aplicadas nos estádios V₄ e R₂ tanto antes quanto após o armazenamento. Subdoses de 2,4-D aplicadas em V₄ e em R₂ não diminuem a germinação das sementes de soja recém-colhidas e armazenadas por 6 meses a 20°C, no entanto há redução da velocidade e da porcentagem de emergência após o armazenamento.

PAVAVRAS-CHAVE: Germinação, *Glycine max*, herbicidas auxínicos, injúria, vigor de sementes.

ABSTRACT

COSTA, ESTEVAM MATHEUS. Goiano Federal – Rio Verde Campus– GO, July of 2019. **Simulated drift of dicamba and 2,4-d: effects on yield and physiological quality of newly harvested and stored soybean seeds.** Advisor: Dr. Adriano Jakelaitis. Co-advisor: Dr. Jacson Zuchi; Dr.^a Renata Pereira Marques

With transgenic soybeans commercialization that have genes conferring tolerance to dicamba and 2,4-D herbicides, a supplement in herbicide alternatives can be used as part of a program to manage common herbicide-resistant plants. However, with increased herbicides use, the risks associated with drift problems also increase, since both dicamba and 2,4-D have small molecules that volatilize easily and cause damage to people at very low rates. The objective of this study was to evaluate the ingestion effects of dicamba and 2,4-D herbicide on soybean crop and plants physiological quality after harvesting and the passage of six months. Two experiments, each with herbicide, dicamba or 2,4-D, were conducted in the 4x2 + 1 double factorial scheme, with four rates (0.028, 0.28, 2.8 and 28 g ae ha⁻¹) being applied in two phenological stages (V₄ and R₂) plus a control treatment. Genes-like germinated sprouts in soybean plants and crop production components, in addition to the seeds physiological quality, through the germination and vigor test, as a first germination count, an electrical conductivity, emergency percentage, the index emergency speed, shortly after harvest and after the storage period. The dicamba simulated drift caused in the soybean crop, affecting the vegetative development and the productivity, while not producing inhibitions in a significant way, it was not able to produce the elements of production. As dicamba sub-dimensions of training without stage V₄ caused injuries of up to 41%, while in R₂ the injuries reached 70%. Plant height is reduced by 61 percentage points for dicamba sublethal rates. The sum of soybean was 29 and 76 percentage points, when the drift spread in stages V₄ and R₂, and in the rate of 28

g ae ha⁻¹. At 28 g ha⁻¹ of dicamba, applied at V₄ and R₂, germination of freshly harvested seeds was reduced by 15 and 42%, respectively. After storage, seed treatment with 28 g ha⁻¹ of dicamba the fine germination was reduced by 64 percent and the electrical conductivity doubled compared to the control. For emergence rate, and to obtain the seeds after storage, there was a reduction in the interaction between the sublethal rates and the application stage, with the treatments receiving an application of 2.8 and 28 g ha⁻¹ with lower performance. The dicamba underdoses caused injury and reduced productivity, while 2,4-D sub-doses did not cause injury and did not affect soybean productivity. The soybean seeds have their physiological quality reduced by dicamba sublethal rates. Sublethal rates of 2,4-D in V₄ and in R₂ does not decrease the newly harvested soybean seeds germination and stored for 6 months at 20°C, however decreases the speed and percentage of feed after storage.

KEY WORDS: Auxin herbicides, germination, *Glycine max*, injury, seed vigor.

INTRODUÇÃO

Empresas de biotecnologia estão desenvolvendo cultivares de milho, soja e algodão projetados com tolerância adquirida ao sintético herbicidas 2,4-D e dicamba (Behrens et al. 2007), desta forma, as novas cultivares tolerantes permitirá que estas moléculas sejam aplicadas em culturas em que a aplicação destes herbicidas não era possível (Egan et al., 2014). Novas tecnologias de transgenia para a cultura da soja, dará aos agricultores novas opções para o manejo de plantas daninhas.

Embora o 2,4-D tenha sido introduzido pela primeira vez em 1945 e o dicamba em 1967, a evolução das plantas daninhas com resistência a esses herbicidas tem sido relativamente lenta e está associada principalmente a aplicações contínuas durante um longo tempo de um único ingrediente ativo (Solomon e Bradley, 2014). Em todo o mundo foram relatados mais de 39 casos de resistência de plantas daninhas aos herbicidas auxínicos, das quais, três estão presentes no Brasil (Heap, 2019), no entanto, os mecanismos de resistência para a maioria das espécies não foram elucidados (Christoffoleti et al., 2015). A baixa quantidade de espécies com resistência evoluída é de grande importância para o manejo de plantas daninhas, pois possibilita a utilização dos herbicidas de auxina sintética com eficiência, no entanto, o aumento da dependência de herbicidas de mesmo mecanismo de ação leva rapidamente a seleção de biótipos resistentes a estes herbicidas (Culpepper et al. 2006; Harker et al. 2017).

Os herbicidas auxínicos, também são conhecidos como reguladores de crescimento, auxínicos sintéticos ou herbicidas hormonais pela sua similaridade estrutural e por afetarem as plantas de maneira similar ao ácido indolacético (AIA), principal auxina natural das plantas (Oliveira Júnior, 2011). Estes herbicidas translocam via xilema e floema, e expressam seus efeitos nas plantas sensíveis mesmo em doses muito baixas, como ocorre nos casos de deriva ou de contaminação dos pulverizadores. Apresentam baixa toxicidade para mamíferos e, com exceção do picloram, não persistem no solo e são seletivos para gramíneas, controlando com eficiência espécies eudicotiledôneas (Oliveira

Júnior, 2011). O modo de ação desses herbicidas é tão complexo quanto a ação da auxina natural e, apesar de décadas de pesquisas, ainda permanece desconhecido o mecanismo de ação desses (Kelley e Riechers, 2007).

Os herbicidas auxínicos permanecem ativos por longos períodos de tempo, este fato permite que eles funcionem com eficiência (Song, 2014), enquanto as auxinas naturais são inativadas rapidamente por processos de degradação e conjugação (Ljung et al. 2002). A morte das plantas provocada por estes herbicidas é resultante de vários mecanismos, mediada por diversos hormônios, como o etileno e o ácido abscísico (Song, 2014).

Os mimetizadores de auxina interrompem os processos regulatórios naturais das plantas sensíveis, causando resposta descontrolada às auxinas (Kelley e Riechers, 2007). Sabe-se que altos níveis de auxina induzem a biossíntese do ácido abscísico (ABA), que por sua vez, induz o fechamento dos estômatos reduzindo a fixação do carbono pela fotossíntese. O ABA combinado na presença de luz provoca acúmulo de peróxido de hidrogênio, resultando em danos oxidativos que contribuem para a fitotoxicidade (Cobb e Reade, 2010).

A auxina altera a conformação do citoesqueleto e reduz a ação dos peroxissomos, reduzindo a defesa antioxidante das plantas. Ela também ativa os genes responsáveis pela biossíntese de etileno e de ABA, levando a superprodução de espécies reativas de oxigênio, que por sua vez, promovem reorganização da parede celular, levando a perda de sua estrutura original. Com isso, as espécies reativas de oxigênio, são capazes de atingir a membrana plasmática e podem interagir com fosfolipídios, promovendo insaturação de lipídios da membrana plasmática, vazamento do citosol e morte celular (Christoffoleti et al., 2015).

Estes herbicidas provocam deformações no limbo foliar, paralisação do crescimento, engrossamento das raízes, tumores no caule em função da interrupção do fluxo de seiva no floema e morte das plantas entre 3 e 5 semanas após a exposição a estes herbicidas (Oliveira Júnior, 2011).

Os herbicidas auxínicos são divididos em cinco classes: ácidos benzoicos (dicamba); ácidos fenoxi-carboxílicos (ácido 2,4-diclorofenoxiacético); piridinas (picloram e clopiralide); ácidos quinolinocarboxílicos (quinclorac); e ácido carboxílico de pirimidina (aminociclopiraclo) (Christoffoleti et al., 2015).

O dicamba, ou sal de dimetilamina do ácido 3,6-dicloro-2-metoxibenzóico é um herbicida auxínico que é ativo em ampla variedade de espécies eudicotiledôneas e tem

sido amplamente em milho, pequenos grãos e controle de plantas daninhas de pastagem por mais de cinco décadas (Egan e Mortensen, 2012). Pertence à família química do ácido benzoico e, na forma ácida, possui uma pressão de vapor de 4,5 mPa a 25 ° C, sendo caracterizado como um composto moderadamente volátil (Bunch e Gervais, 2012).

O ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) foi o primeiro herbicida sintético a ser comercialmente desenvolvido e tem sido comumente utilizado como herbicida de folhas largas há mais de 60 anos (Song, 2014), foi também o primeiro herbicida seletivo inserido no mercado, revolucionando o controle de plantas daninhas eudicotiledôneas (Rodrigues e Almeida, 2011). Tem como uma de suas principais características o baixo peso molecular (George et al., 1963).

A utilização de variedades com tolerância aos herbicidas dicamba e 2,4-D, pertencentes ao grupo das auxinas sintéticas, possibilitará a utilização destes herbicidas no manejo de plantas daninhas sem causar danos na cultura da soja (Silva, 2018). Essa tolerância é uma excelente estratégia de manejo de plantas daninhas de folha larga resistentes aos herbicidas pertencentes a outros mecanismos de ação (Spaunhorst e Siefert-Higgins, 2014), no entanto, o aumento na utilização destes herbicidas podem aumentar as chances de deriva para áreas vizinhas cultivadas com variedades de soja não tolerantes aos herbicidas auxínicos, resultando em injúrias e redução da produtividade e da qualidade fisiológica das sementes de soja.

Algumas preocupações foram expressas sobre o uso de culturas transgênicas tolerantes a herbicidas auxínicos, incluindo possível deriva para campos de produção de cultivares da mesma espécie ou para outras espécies suscetíveis (Mortensen et al., 2012). Existe risco para a cultura da soja não tolerante aos herbicidas auxínicos e a gravidade dos danos provocados dependem do herbicida e do estágio fenológico em que a cultura se encontra. De forma geral é mais provável que a soja se recupere quando as derivas ocorrem em aplicações feitas em estádios mais precoces e em doses mais baixas (Solomon e Bradley, 2014), entretanto, as plantas não tolerantes ficam menos suscetíveis com a idade, porém, durante o florescimento, a tolerância aos herbicidas hormonais é reduzida (Silva et al., 2007).

Os herbicidas auxínicos agem de maneira similar ao ácido indolacético (AIA), no entanto, são mais persistentes e mais ativos que o AIA. Desta forma, estes herbicidas provocam danos em culturas sensíveis mesmo em concentrações muito baixas (Oliveira Júnior, 2011), como acontece em casos de deriva e de contaminação de pulverizadores.

A deriva destes herbicidas pode provocar injúrias, reduzir a produtividade e afetar a qualidade fisiológica das sementes de soja.

Em estudos realizados por Wax et al. (1969), Auch & Arnold (1978), Solomon & Bradley (2014), Jones (2018) e Silva et al. (2018), evidenciam os danos que as subdoses de herbicidas auxínicos podem provocar sobre a cultura da soja. Robinson et al. (2013a) observaram perdas de rendimento de 10% quando exposta a dicamba a 22,7 g ae ha⁻¹. Johnson et al. (2012) observaram perdas de rendimento de até 85% com a aplicação de dicamba na dose de 41 g ea ha⁻¹. 1% da dose utilizada na cultura do milho, correspondente a 5,6 g ea ha⁻¹ de dicamba, reduziu a produtividade da soja em até 34%, enquanto foram necessários 112 g ea ha⁻¹ de 2,4-D para provocar redução na produtividade na faixa de 25 a 32% (Andersen et al. 2004).

Subdoses de 2,4-D reduziram a germinação e o vigor das sementes de soja (Silva et al., 2018). Desta forma, a qualidade fisiológica das sementes reduz em função das alterações nos níveis hormonais nas sementes (Silva et al., 2018). A aplicação de auxinas endógenas em sementes de soja regula negativamente a biossíntese de giberelinas e promove o aumento na concentração de ácido abscísico, resultando em dormência e reduzindo a germinação através do atraso da protusão da radícula (Shuai et al., 2017).

Baixa porcentagem de germinação, plântulas com crescimento lento e menor desenvolvimento radicular, estão associadas as sementes que possuem baixo potencial fisiológico (Nakao et al., 2018). Sementes de baixa qualidade fisiológica resultam em lavouras com maior variabilidade entre as plantas (Cantarelli et al., 2015), que pode dificultar o manejo da lavoura, além de promover reduções na produtividade. A obtenção de sementes de elevado vigor é de grande importância, pois afeta o estabelecimento da cultura, o desenvolvimento das plantas, a uniformidade da lavoura e a produtividade da cultura (Daltro et al., 2010).

Pesquisas têm evidenciado que o uso de dicamba em soja não tolerante resulta em efeitos negativos sobre as plantas, principalmente relacionado com a qualidade fisiológica de sementes, com grandes prejuízos quando há deriva simulada deste em estágios reprodutivos (Barber et al. 2016; Griffin et al. 2013). A deriva de herbicidas hormonais pode provocar injúrias nas plantas genitoras, reduzir a produtividade e afetar a qualidade fisiológica das sementes de soja. A aplicação de herbicidas auxínicos nos estádios vegetativo e reprodutivo da soja causa redução da qualidade das sementes (Silva et al., 2018).

O 2,4-D quando aplicado em diferentes estádios da cultura da soja resultou em declínio da germinação e qualidade das sementes (Silva, 2018). O dicamba aplicado no estádio reprodutivo da cultura da soja afeta a semente e, conseqüentemente, as plantas da safra seguinte (Barber et al., 2016; Miller e Norsworthy, 2018). Subdoses de dicamba reduziram a germinação e o vigor das sementes de soja (Silva et al., 2018). Robinson et al. (2013b) observaram alterações na composição das sementes com reduções nos teores de lipídeos nas sementes de soja tratadas com dicamba em estádios vegetativo e reprodutivo, enquanto o teor de proteínas reduziu quando as aplicações de dicamba ocorreram nos estádios V₂ e V₅ e aumentou nas aplicações feitas em R₂.

Com o registro e comercialização de tecnologias referentes ao uso de herbicidas hormonais, principalmente ao dicamba e 2,4-D, torna-se necessário a realização de pesquisas visando a compreensão dos impactos destes herbicidas em culturas não alvo (Egan e Mortensen 2012).

OBJETIVOS

Geral

Avaliar os efeitos da deriva simulada através de subdoses de dicamba e de 2,4-D em dois estágios fenológicos da cultura da soja e sobre a qualidade fisiológica das sementes após a colheita e após seis meses de armazenamento.

Específicos

- Avaliar os efeitos de subdoses de dicamba e 2,4-D em dois estágios fenológicos na cultura da soja;

- Avaliar os efeitos da aplicação de subdoses de dicamba em duas fases fenológicas (V₄ e R₂) da cultura sobre a qualidade fisiológica das sementes de soja avaliadas após a colheita e após seis meses de armazenamento.

- Avaliar os efeitos da aplicação de subdoses de 2,4-D em duas fases fenológicas (V₄ e R₂) da cultura sobre a qualidade fisiológica das sementes de soja avaliadas após a colheita e após seis meses de armazenamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSEN, S. M. et al. Soybean foliage residues of dicamba and 2, 4-D and correlation to application rates and yield. **Agronomy journal**, v. 96, n. 3, p. 750-760, 2004.

AUCH, D. E.; ARNOLD, W. E. Dicamba use and injury on soybeans (*Glycine max*) in South Dakota. **Weed Science**, v. 26, n. 5, p. 471-475, 1978.

BARBER L.T. Dicamba drift cutting Mid-South soybean yields. **Delta Farm Press**, 2016. Disponível em: <http://www.deltafarmpress.com/soybeans/dicamba-driftcutting-mid-south-soybean-yields>. Acesso em 21 de maio de 2019.

BEHRENS, M. R. et al. Dicamba resistance: enlarging and preserving biotechnology-based weed management strategies. **Science**, v. 316, n. 5828, p. 1185-1188, 2007.

BUNCH, T. R. et al. Dicamba Technical Fact Sheet. **National Pesticide Information Center, Oregon State University Extension Services**. 2012.

BYRD, S. A. et al. Cotton Stage of Growth Determines Sensitivity to 2, 4-D. **Weed Technology**, v. 30, n. 3, p. 601-610, 2015.

CANTARELLI, L. D.; SCHUCH, L. O. B.; RUFINO, C. A.; TAVARES, L. C.; VIEIRA, J. F. Physiological seeds quality: spatial distribution and variability among soybean plant population. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 2, p. 344-351, 2015.

CHRISTOFFOLETI, P. J. et al. Auxinic herbicides, mechanisms of action, and weed resistance: A look into recent plant science advances. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 4, p. 356-362, 2015.

COBB, A. H.; READE, J. P. H. **Herbicides and plant physiology**. John Wiley & Sons, 2011.

DALTRO, E. M. F. et al. Aplicação de dessecantes em pré-colheita: efeito na qualidade fisiológica de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 1, p. 111-122, 2010.

EGAN, J. F.; MORTENSEN, D. A. Quantifying vapor drift of dicamba herbicides applied to soybean. **Environmental toxicology and chemistry**, v. 31, n. 5, p. 1023-1031, 2012.

GEORGE, E. F. et al. **Plant propagation by tissue culture**, 3 ed. Berlin: Springer, 1963.

GRIFFIN, J. L. et al. Soybean response to dicamba applied at vegetative and reproductive growth stages. **Weed technology**, v. 27, n. 4, p. 696-703, 2013.

HEAP, I. **The International Survey of Herbicide Resistant Weeds**. Disponível em: <www.weedscience.org>. Acesso em: 22 maio 2019.

HARKER, K. N. et al. Another view. **Weed Science**, v. 65, n. 2, p. 203-205, 2017.

JONES, G. T. Evaluation of Dicamba Off-Target Movement and Subsequent Effects on Soybean Offspring. 2018. 197f. **Dissertação** (Mestrado Em Ciências De Plantas, Solo E Meio Ambiente) apresentada à Universidade do sudeste do estado de Missouri. 2018.

JOHNSON, V. A. et al. Cotton, peanut, and soybean response to sublethal rates of dicamba, glufosinate, and 2, 4-D. **Weed Technology**, v. 26, n. 2, p. 195-206, 2012.

KELLEY, K. B.; RIECHERS, D. E. Recent developments in auxin biology and new opportunities for auxinic herbicide research. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 89, n. 1, p. 1-11, 2007.

LJUNG, K. et al. **Biosynthesis, conjugation, catabolism and homeostasis of indole-3-acetic acid in *Arabidopsis thaliana***. In: Auxin Molecular Biology. Dordrecht: Springer, 2002. p. 249-272.

MILLER, M.R.; NORSWORTHY, J.K. Soybean Sensitivity to Florpyrauxifen-benzyl during Reproductive Growth and the Impact on Subsequent Progeny. **Weed Technology**, v. 32, n. 2, p. 135-140, 2018.

MORTENSEN, D. A. et al. Navigating a critical juncture for sustainable weed management. **BioScience**, v. 62, n. 1, p. 75-84, 2012.

NAKAO, A. H. et al. Características agronômicas e qualidade fisiológica de sementes de soja em função da adubação foliar com boro e zinco. **Cultura Agronômica: Revista de Ciências Agronômicas**, v. 27, n. 3, p. 312-327, 2018.

OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. Mecanismos de ação de herbicidas. In: OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. *Biologia e manejo de plantas daninhas*. Curitiba: Omnipax Editora, 2011. p.141-192.

ROBINSON, A.P. et al. Response of soybean yield components to 2,4-D. **Weed Science**, v.61, p.68–76, 2013a.

ROBINSON, A.P.; SIMPSON, D.M.; JOHNSON, W.G. Response of glyphosate-tolerant soybean yield components to dicamba exposure. **Weed Science**, v. 61, n. 4, p. 526-536, 2013b.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. (Ed.). *Guia de herbicidas*. 6 ed. Londrina, PR: Edição dos autores, 2011. 697 p.

SHUAI, H. et al. Exogenous auxin represses soybean seed germination through decreasing the gibberellin/abscisic acid (GA/ABA) ratio. **Nature**, v.7, p.12620, 2017.

SILVA A.A., FERREIRA F.A., FERREIRA L.R. Herbicidas: Classificação e mecanismos de ação. In: Silva A.A., Silva J.F. editores. Tópicos em manejo de plantas daninhas. Viçosa: UFV, 2007. p. 83-148.

SILVA, D. R. O. da et al. Drift of 2, 4-D and dicamba applied to soybean at vegetative and reproductive growth stage. **Ciência Rural**, v. 48, n. 8, 2018.

SOLOMON, C. B.; BRADLEY, K. W. Influence of application timings and sublethal rates of synthetic auxin herbicides on soybean. **Weed technology**, v. 28, n. 3, p. 454-464, 2014.

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

SOSNOSKIE, L. M. et al. Evaluating the volatility of three formulations of 2, 4-D when applied in the field. **Weed technology**, v. 29, n. 2, p. 177-184, 2015.

SPAUNHORST, D. et al. Glyphosate-resistant giant ragweed (*Ambrosia trifida*) and waterhemp (*Amaranthus rudis*) management in dicamba resistant soybean (*Glycine max*). **Weed Technology**, v.28, p.131-141, 2014.

WANG, M.; RAUTMANN, D. A simple probabilistic estimation of spray drift—factors determining spray drift and development of a model. **Environmental toxicology and chemistry**, v. 27, n. 12, p. 2617-2626, 2008.

CAPÍTULO I - DERIVA SIMULADA DE DICAMBA E 2,4-D EM SOJA: EFEITO DE DOSE E ESTÁGIO DE DESENVOLVIMENTO

(Normas de acordo com a Revista Bioscience Journal)

Resumo: Com a inserção de variedades de soja resistentes aos herbicidas dicamba e 2,4-D os eventos de deriva destes herbicidas para áreas com variedades não resistentes é passível de ocorrência. Objetivou-se avaliar os efeitos da deriva simulada de dicamba e 2,4-D na cultura da soja. Foram realizados dois experimentos, sendo o primeiro com o herbicida dicamba e o segundo com o herbicida 2,4-D. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, montado sobre esquema fatorial de $4 \times 2 + 1$, composto por quatro doses (0,028, 0,28, 2,8 e 28 g de ea L⁻¹) de dicamba ou de 2,4-D, aplicados em dois estádios fenológicos (V₄ e R₂) + um tratamento testemunha (sem aplicação de herbicida). A deriva simulada de dicamba provocaram danos na cultura da soja afetando o desenvolvimento vegetativo e a produtividade, enquanto o 2,4-D não provocou injúrias de grandeza suficiente para provocar danos que comprometessem a cultura e desta forma, não afetou os componentes de produção. As subdoses de dicamba aplicadas no estágio V₄ provocou injúrias de até 41%, enquanto em R₂ as injúrias chegaram a 70%. A altura das plantas reduziu em até 61 pp pelas subdoses de dicamba. A produtividade da soja foi reduzida em 29 e 76 pp, quando a deriva simulada ocorreu nos estádios V₄ e R₂, respectivamente e na dose de 28 g ea ha⁻¹. As subdoses de dicamba provocaram injúrias e reduziram a produtividade, enquanto as subdoses de 2,4-D não provocaram injúrias e não afetaram na produtividade da cultura da soja.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merrill; herbicidas auxínicos; injúria.

**SIMULATED DRIFT OF DICAMBA AND 2,4-D ON SOYBEANS:
APPLICATION DOSE AND TIME EFFECTS**

Abstract: The use of soybean varieties resistant to herbicides dicamba and 2,4-D may lead to drifts towards areas grown with nonresistant varieties. The aim of this study was to evaluate the dicamba and 2,4-D underdoses effects applied at the phenological stages V₄ and R₂ of soybeans. Two experiments were conducted with dicamba or 2,4-D in a randomized block design with four replications. The 4 × 2 + 1 factorial scheme was composed of four doses (0.028, 0.28, 2.8, and 28 g ha⁻¹) of dicamba or 2,4-D applied at two phenological stages (V₄ and R₂) + a control treatment (without herbicide application). dicamba underdoses caused damage to soybean crop affecting its vegetative growth and yield; on the other hand, the injuries caused by 2,4-D were neither enough to damage crop nor affect yield components. Dicamba underdoses applied at V₄ caused injuries of up to 41%, while in R₂ they reached 70%. Plant height decreased by up to 61% when treated with dicamba. Soybean yield was reduced by 29 and 76% when the simulated drift occurred at V₄ and R₂, respectively, and at a dose of 28 g ae ha⁻¹ of dicamba. For the tested underdoses, only 2,4-D had no effect in soybean crop yield.

Keywords: *Glycine max* (L.) Merrill; auxin herbicides; soybean-resistant herbicides.

1.1 INTRODUÇÃO

Com o surgimento de espécies de plantas daninhas de folhas largas (eudicotiledôneas) resistentes ao glifosato ocorreu a necessidade de buscar alternativas de herbicidas para o controle destas, como, por exemplo, a inserção de variedades resistentes aos herbicidas dicamba (Behrens et al., 2007) e 2,4-D (Wright et al., 2010), que poderão fazer parte de um programa de manejo de plantas resistentes aos herbicidas comumente utilizados. No entanto, a deriva de herbicidas sobre a cultura da soja não resistente pode provocar danos no desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da cultura, reduzindo sua produtividade.

Herbicidas auxínicos em subdoses podem provocar anormalidades em folhas largas sensíveis (Silva et al., 2018), desta forma, a contaminação do equipamento de pulverização, a deriva da pulverização e a volatilização do dicamba podem causar fitointoxicação e reduzir o rendimento da soja (Grove, 2017).

A deriva é o desvio da trajetória de partículas liberadas na aplicação, que não atingem o alvo, ocasionando perdas do produto (Souza et al., 2011) e danos econômicos

e ambientais em áreas nas proximidades. Mesmo após os herbicidas atingirem o alvo, ainda existe o risco de ocorrência de deriva em função da volatilização dos herbicidas (Jones 2018), além de contaminação dos tanques dos pulverizadores por estes herbicidas.

Em estudos realizados por Wax et al. (1969), Auch & Arnold (1978), Solomon & Bradley (2014), Jones (2018) e Silva et al. (2018), evidenciam os danos que as subdoses de herbicidas auxínicos podem provocar sobre a cultura da soja. Robinson et al. (2013a) observaram perdas de rendimento de 10% quando exposta a dicamba a 22,7 g ae ha⁻¹. Johnson et al. (2012) observaram perdas de rendimento de até 85% com a aplicação de dicamba na dose de 41 g ea ha⁻¹. 5,6 g ea ha⁻¹ de dicamba, correspondente a 1% da taxa de uso na cultura do milho, reduziu a produtividade da soja em até 34%, enquanto foram necessários 112 g ha⁻¹ de 2,4-D para provocar redução na produtividade na faixa de 25 a 32% (Andersen et al., 2004). O estágio de desenvolvimento da cultura no momento em que ocorre a exposição das plantas de soja aos herbicidas auxínicos é um fator que influencia de maneira expressiva na formação de injúrias e na redução da produtividade. A soja no estágio R1 é 2,5 vezes mais sensível ao dicamba do que a soja no estágio V₃ (Griffin et al., 2013).

Com o registro e comercialização de tecnologias referentes ao uso de herbicidas hormonais, principalmente ao dicamba e 2,4-D, torna-se necessário a realização de pesquisas visando a compreensão dos impactos destes herbicidas em culturas não alvo (Egan; Mortensen, 2012). Desta forma, objetivou-se avaliar os efeitos da deriva simulada de dicamba e 2,4-D em dois estádios fenológicos na cultura da soja.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram realizados em campo no Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde, GO, localizado nas latitudes 17°48'55"S e longitude 50°56'28"O, com altitude média de 758 m. O clima da região foi classificado de acordo com o sistema de classificação climática de Köppen-Geiger como Aw (tropical) com precipitação no verão (outubro a abril) e um período seco bem definido nos meses de inverno (maio a setembro). Durante a realização dos experimentos a precipitação registrada foi de 147; 244; 267; 136 e 20 mm enquanto a temperatura média foi de 25,0; 24,4; 24,8; 24,9 e 26,3°C para os meses de novembro e dezembro de 2017, janeiro, fevereiro e março de 2018, respectivamente. O solo do local de implantação dos experimentos foi classificado

na classe textural argilosa, o pH (CaCl₂) foi de 5,4, o teor de matéria orgânica foi de 3,9% e o índice de saturação por bases foi de 71%.

Realizou-se dois experimentos (dicamba ou 2,4-D) em delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos foram arranjados em esquema fatorial (4 x 2) + 1, de quatro subdoses (0,028, 0,28, 2,8 e 28 g de equivalente ácido por hectare) aplicados em dois estádios fenológicos da cultura da soja (V₄ e R₂), mais o tratamento adicional sem aplicação de herbicida.

Realizou-se a semeadura da variedade de soja ADV 4672 IPRO de forma mecanizada, em sistema de plantio direto, com espaçamento de 0,45 m entre linhas e 18 sementes por metro. A adubação e o manejo de pragas de doenças foram realizados com a aplicação de produtos fitossanitários de acordo com a necessidade e recomendações técnicas para a cultura da soja, conforme EMBRAPA (2013). O controle de plantas daninhas foi realizado com a aplicação do herbicida glifosato em pré-plantio, um dia antes da semeadura na dose de 2150 g de ea ha⁻¹ e em pós-plantio aos 25 e 35 dias após a semeadura na dose de 960 g de ea ha⁻¹.

As parcelas foram de 25,2 m², sendo considerada como área útil os 5 metros centrais das 5 linhas de cada parcela. A simulação da deriva foi realizada com pulverizador costal pressurizado com CO₂, regulado para a obtenção de uma pressão constante de 150 KPa e volume de calda de 170 L ha⁻¹. As pontas de pulverização usadas foram do tipo leque modelo XR Teejet 8002VB.

Aos 7, 14 e 28 dias, após a aplicação dos tratamentos (DAA), foram realizadas avaliações da altura de planta tomando como referência a superfície do solo e o dossel, em 5 pontos aleatórios de cada parcela, além da avaliação das injúrias provocadas pela simulação de deriva através de avaliação visual e atribuição de notas que variam de 0 a 100%, em que 0 representa nenhuma injúria e 100% representa morte das plantas, conforme a escala EWRC, modificada por Frans (1972).

A colheita foi realizada de forma manual no estádio R8 (maturação plena - com 95% das vagens com coloração de madura), seguida de trilhagem das plantas em trilhadora mecanizada. Por ocasião da colheita, realizou-se a avaliação do número de plantas e do rendimento de sementes na área útil da parcela para determinação da produtividade (expressa a 13% de teor de água). Foram separadas dez plantas para a avaliação do número de ramificações e do número de vagens por planta, além do número de grãos por vagem, em cem vagens tomadas ao acaso. Realizou-se também a avaliação

do peso mil sementes, com oito repetições de cem sementes para cada parcela em balança analítica de resolução (0,01g) (Brasil, 2009).

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade e de homogeneidade, à análise de variância ($\alpha \leq 0,05$), e aos testes de Dunnett e de Tukey ($\alpha \leq 0,05$) por meio do software Assistat, buscando detectar se houve diferenças entre os tratamentos com os herbicidas com o tratamento testemunha e entre os tratamentos sem a presença do tratamento testemunha. Para as variáveis injúria e altura de plantas avaliadas aos 7, 14 e 28 DAA, não foi realizada a análise da interação entre os fatores em função das plantas se encontrarem com altura e arquitetura diferentes nos dois estádios. Realizou-se a transformação de dados das variáveis injúria aos 7, 14 e 28 DAA, para os dois experimentos, por meio da equação $(X + 1)^{0.5}$ pelo software Sisvar versão 5.6.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As injúrias provocadas variaram em função do herbicida aplicado, das doses e do estágio fenológico da soja. No entanto, não foram observadas interações significativas entre os dois fatores avaliados, e quando analisados de forma isolada, os fatores, dose e estágio de aplicação apresentaram diferenças significativas para as avaliações ao 7, 14 e 28 dias após a aplicação (DAA). As subdoses de dicamba provocou injúrias mais intensas quando comparadas as provocadas pelo 2,4-D (Tabela 1). Solomon & Bradley (2014), observaram que o herbicida dicamba provocaram injúrias significativas na soja enquanto o herbicida 2,4-D não provocou injúrias significativas, não sendo observadas injúrias após a aplicação deste.

Tabela 1. Injúria nas plantas de soja em resposta da aplicação de dicamba e 2,4-D nos estádios V₄ e R₂ avaliados aos 7, 14 e 28 dias após a aplicação (DAA)

Herbicida	Dose (g ea ha ⁻¹)	Injúria (%) ^{1,2}					
		V ₄ ³			R ₂ ³		
		7 DAA	14 DAA	28 DAA	7 DAA	14 DAA	28 DAA
Dicamba	0,028	4 a	5 a	1 a	9 a ⁽⁺⁾	22 a ⁽⁺⁾	11 a
	0,28	9 ab	30 ab ⁽⁺⁾	1 a	15 a ⁽⁺⁾	26 a ⁽⁺⁾	24 ab ⁽⁺⁾
	2,8	24 bc ⁽⁺⁾	31 ab ⁽⁺⁾	16 b ⁽⁺⁾	18 a ⁽⁺⁾	31 a ⁽⁺⁾	35 b ⁽⁺⁾
	28	38 c ⁽⁺⁾	41 b ⁽⁺⁾	24 b ⁽⁺⁾	38 b ⁽⁺⁾	33 a ⁽⁺⁾	70 c ⁽⁺⁾
	Testemunha	0	0	0	0	0	0
CV (%)		26,65	38,82	24,95	11,24	9,87	15,54
2,4-D	0,028	0,3 ab	0,0	0,0	0,0	1,3	3,0
	0,28	0,0 a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
	2,8	1,4 b ⁽⁺⁾	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
	28	0,6 ab	1,3	0,0	0,0	1,0	3,3
	Testemunha	0	0	0	0	0	0
CV (%)		13,97	0,00	0,00	0,00	26,38	50,65

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem-se entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Médias seguidas por (+) foram superiores à testemunha pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$). ¹ Escala de injúrias conforme Frans (1972). ² Valores observados (sem transformação de dados). ³ Estádio de aplicação dos herbicidas.

A deriva de dicamba em V₄, na dose de 0,028 g ea ha⁻¹ não provocou injúrias, em relação à testemunha em todas as avaliações realizadas, exceto nas maiores doses. Maior intensidade das injúrias foram observadas entre os 7 e os 14 DAA, ao passo que após os 14 DAA houve redução dos sintomas, demonstrando que os efeitos do dicamba leva determinado tempo para se manifestarem e as plantas de soja possuem mecanismos que lhes permitem recuperar, ao menos em parte, dos danos sofridos em função deriva de dicamba. Solomon & Bradley (2014), observaram recuperação das plantas tratadas com dicamba no estádio V₃, no entanto, as plantas tratadas em R₂ não demonstraram recuperação das injúrias sofridas.

Outros autores também relataram maior lesão por dicamba aos 14 DAA em comparação com 7 DAA (Al-Khatib; Peterson, 1999; Griffin et al., 2013; Growe, 2017). As injúrias provocadas pelo dicamba na cultura da soja são observadas em tecidos recém-formados, pois este é translocado para os tecidos meristemáticos (Senseman, 2007). Em variedades de hábito de crescimento indeterminado observa-se a formação de injúrias em folhas recém-formadas, pois nestas, mesmo após o florescimento, há formação de órgãos vegetativos (Heatherly; Elmore, 2004).

Os efeitos do dicamba aplicado em R₂ foi diferente em relação à aplicação em V₄, uma vez que, não houve redução na intensidade das injúrias em função do tempo, evidenciando que as plantas não recuperaram, com exceção da menor dose (0,028 ea L⁻¹). Solomon & Bradley (2014) observaram aumento na intensidade das injúrias com o aumento da dose de herbicida aplicada, com exceção do herbicida 2,4-D.

As dosagens de dicamba influenciaram diretamente na formação de injúrias nas plantas de soja. Na menor dose de dicamba, os maiores níveis de injúria foram de 4,8 e de 22,3 para os estádios V₄ e R₂, respectivamente, enquanto para a maior dose foi de 41,3 e de 69,8 para os estádios V₄ e R₂. Os resultados desta pesquisa respaldam-se nos observados por Silva et al. (2018) que observaram correlação entre o aumento das doses de dicamba e o aumento dos níveis de injúria em plantas de soja.

Maior porcentagem de injúrias ocorreu na dose de 2,8 g ea ha⁻¹ de 2,4-D aos 14 DAA. Os demais tratamentos, avaliados aos 7, 14 e 28 DAA não provocaram injúrias que comprometessem o desenvolvimento das plantas de soja, sendo estas injúrias classificadas na categoria “muito leve” conforme escala desenvolvida por Frans (1972). Solomon & Bradley (2014) avaliaram subdoses de oito herbicidas do grupo das auxinas sintéticas, incluindo dicamba e 2,4-D, em dois estádios fenológicos (V₃ e R₂) na cultura da soja e observaram que, com exceção do 2,4-D, todos os herbicidas provocaram injúrias e reduziram a produtividade da cultura.

As subdoses de dicamba e de 2,4-D reduziu a altura de plantas de soja, mas foram observadas reduções mais acentuadas quando foram aplicadas subdoses de dicamba. O Dicamba reduziu a altura das plantas de soja em todas as avaliações realizadas. Aos 28 DAA, a redução da altura das plantas foi de, aproximadamente, 35 e 50 pontos percentuais (pp) para as doses de 2,8 e 28 g de ea ha⁻¹ aplicados em V₄, respectivamente (Tabela 2). Solomon & Bradley (2014) observaram que o dicamba reduziu a altura das plantas de soja aos 28 DAA, para as dosagens de 2,8 e 28 g ea ha⁻¹ aplicadas nos estádios V₃ e R₂. Silva et al. (2018) observaram redução de 60 pp na altura das plantas sob deriva de dicamba na dose de 42 g de ea ha⁻¹ no estágio V₅.

Tabela 2. Altura de planta em resposta da aplicação de dicamba e 2,4-D nos estádios V₄ e R₂ avaliados aos 7, 14 e 28 dias após a aplicação (DAA)

Herbicida	Dose (g ea ha ⁻¹)	Altura de Planta (cm)					
		V ₄			R ₂		
		7 DAA	14 DAA	28 DAA	7 DAA	14 DAA	28 DAA
Dicamba	0,028	41 a	58 a	88 a	74 a	93 a	109 a ⁽⁻⁾
	0,28	35 ab	50 b ⁽⁻⁾	83 a	65 b	86 a	99 b ⁽⁻⁾
	2,8	30 bc ⁽⁻⁾	38 c ⁽⁻⁾	56 b ⁽⁻⁾	54 c ⁽⁻⁾	74 b ⁽⁻⁾	73 c ⁽⁻⁾
	28	27 c ⁽⁻⁾	33 c ⁽⁻⁾	44 c ⁽⁻⁾	47 d ⁽⁻⁾	60 c ⁽⁻⁾	55 d ⁽⁻⁾
	Test.	40	56	86	68	88	116
CV (%)		7,60	5,56	4,55	5,48	5,33	2,55
2,4-D	0,028	38 a	60 a	91 a	73 ab	95 a	114 ab
	0,28	39 a	59 a	92 a	75 ab	93 a	115 ab
	2,8	37 a	56 ab	88 a	83 a ⁽⁺⁾	98 a	119 a
	28	38 a	54 b ⁽⁻⁾	89 a	65 b ⁽⁻⁾	83 b ⁽⁻⁾	105 b ⁽⁻⁾
	Test.	39	59	89	74	94	115
CV (%)		3,14	3,83	3,25	5,37	2,72	3,91

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem-se entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Médias seguidas por (-) foram inferiores à testemunha pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).

Neste mesmo sentido, o uso de maiores doses de dicamba em R₂ reduziu a altura das plantas de soja aos 7, 14 e 28 DAA, assim como nas aplicações de 2,4-D na dose de 28 g de ea ha⁻¹ aplicada no estádio R₂. A aplicação de 28 g de ea ha⁻¹ de dicamba no estádio R₂ reduziu 53 pp a altura das plantas aos 28 DAA (Tabela 2). Por outro lado, a aplicação 0,028 g de ea ha⁻¹ de dicamba não reduziu a altura das plantas de soja (109,9 cm) em relação a da testemunha (116 cm).

A redução da estatura das plantas pelo dicamba pode diminuir o rendimento da cultura (Jones, 2018). Solomon & Bradley (2014) também observaram que as reduções na altura das plantas reduziram a produtividade, mas de forma menos acentuada que as injúrias nas plantas. A redução da altura das plantas por herbicidas auxínicos é causada pelo aumento de ácido abscísico, que pode limitar o crescimento das plantas por um período de tempo, até que esta supere estes efeitos (Robinson et al., 2013a). A redução da altura das plantas diminui a área foliar e a produção de fotoassimilados, resultando em menores produtividades (Robinson et al., 2013b).

Tabela 3. Altura Final das plantas de soja no momento da colheita, número de ramos laterais e número de vagens por planta de soja tratadas com quatro doses de dicamba e 2,4-D em aplicadas em 2 estádios de desenvolvimento

Herbicida	Dose (g ea ha ⁻¹)	Altura Final (cm)		Número de Ramos		Número de Vagens	
		V4	R2	V4	R2	V4	R2
Dicamba	0,028	102 aA	100 aA	3,8 aA	4,3 aA	68 aA ⁽⁺⁾	60 aA
	0,28	100 aA	89 bB ⁽⁻⁾	3,6 aA	5,1 aA	54 bB	64 aA
	2,8	85 bA ⁽⁻⁾	69 cB ⁽⁻⁾	5,1 aA	5,8 aA	65 abA	62 aA
	28	73 cA ⁽⁻⁾	40 dB ⁽⁻⁾	4,5 aA	0,9 bB ⁽⁻⁾	67 aA	27 bB ⁽⁻⁾
	Test.	103,8		4,6		54	
CV (%)		4,48		24,21		11,36	
2,4-D	0,028	111 aA	110 aA	4,2 aA	4,2 aA	55 abB	68 aA
	0,28	109 abA	106 abA	4,3 aA	4,1 aA	52 bA	59 abA
	2,8	103 bB	113 aA	3,9 aA	3,1 aA	64 aA	60 abA
	28	105 abA	103 bA	3,3 aA	5,1 aA	65 aA	55 bB
	Test.	109,1		4,73		64,33	
CV (%)		3,50		23,79		10,22	

Médias seguidas por letras minúsculas distintas nas colunas ou maiúscula nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Médias seguidas por (-) foram inferiores à testemunha pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).

Para a variável altura final de planta, verificou-se efeito da interação entre as doses de dicamba e os estádios de aplicação, sendo que, quando o dicamba foi aplicado na dose de 28 g ea ha⁻¹ no estádio R₂ reduziu a altura final das plantas de soja, avaliada no momento da colheita. O dicamba aplicado na dose de 28 g ea ha⁻¹, nos estádios V₄ e R₂, resultaram em plantas 30 e 61 pp menores que a testemunha, enquanto na dose de 0,028 g ea ha⁻¹ de dicamba em V₂ e R₂ não diferiram da testemunha (Tabela 3). Auch & Arnold (1978), observaram maiores reduções na altura das plantas de soja nas aplicações realizadas no início da floração, que nas dos estádios vegetativos. Resultado contrário foi relatado por Silva et al. (2018), que observaram maior redução na altura das plantas quando as aplicações de dicamba foram realizadas nos estádios vegetativos.

O 2,4-D não reduziu a altura final das plantas de soja. Resultados semelhantes foram observados por Solomon & Bradley (2014) que também não observaram reduções na altura das plantas de soja tratadas com 2,4-D com a maior dose de 28 g de ea ha⁻¹. Silva et al. (2018) observou redução linear na altura das plantas de soja tratadas com 2,4-D, sendo que a maior redução foi de 18% para a dose de 42 g de ea ha⁻¹.

O número de ramos laterais foi afetado pela interação dose e estágio, sendo que o dicamba reduziu 81 pp quando aplicado 28 g ea ha⁻¹ no estágio R₂, no entanto, não foram observadas diferenças entre os demais tratamentos e a testemunha, observou-se neste tratamento a morte do meristema apical, no entanto, as plantas não foram capazes de retomar o seu desenvolvimento vegetativo (Tabela 3). A morte do meristema apical das plantas de soja pode ser compensada pelo aumento do número de ramificações, pois estas produzem flores e vagens que suprem a possível redução de rendimento da exposição ao dicamba (Weidenhamer et al., 1989). As injúrias resultantes de deriva de dicamba em estádios vegetativos nem sempre comprometem o rendimento (Al-Khatib & Peterson, 1999).

O número de vagens (Tabela 3), o número de grãos e a produtividade (Tabela 4) foram afetados pela deriva de Dicamba. O número de vagens por planta foi afetado pela interação entre dose e estágio de aplicação, sendo observado acréscimo de 27 pp no tratamento com 0,028 g ea ha⁻¹ de dicamba aplicado no estágio V₄, mas a redução de 50 pp foi observada para a aplicação de 28 g ea ha⁻¹ em R₂. A deriva de dicamba nos estádios reprodutivos pode reduzir a produtividade da cultura, pelos menores números de vagens e de grãos. Solomon & Bradley (2014) observaram a redução de, aproximadamente, 80 pp no número de vagens por planta para o tratamento com 28 g de ea ha⁻¹ de dicamba aplicado em R₂. Kelley et al. (2005) relataram 5,6 g ia ha⁻¹ de dicamba nos estágios V₃ e V₇ da soja não reduziram o número de vagens por planta, mas em R₂ houve redução desta variável.

Tabela 4. Número de grãos por vagem, peso de mil sementes e produtividade da cultura da soja tratada com quatro doses de dicamba e 2,4-D em aplicadas em 2 estádios de desenvolvimento

Herbicida	Dose (g ea ha ⁻¹)	Número de Grãos		PMS (g)		Produtividade (kg ha ⁻¹)	
		V4	R2	V4	R2	V4	R2
Dicamba	0,028	2,3 aB	2,5 aA	169 aA	174 aA	3221 abA	3194 abA
	0,28	2,4 aA	2,3 aA	174 aA	174 aA	3597 aA	3471 aA
	2,8	2,4 aA	2,4 aA	170 aA	179 aA	2831 bcA	2811 bA
	28	2,4 aA	1,9 bB ⁽⁻⁾	171 aA	176 aA	2365 cA ⁽⁻⁾	812 cB ⁽⁻⁾
	Test.	2,34		180		3337	
CV (%)		5,11		4,21		10,67	
2,4-D	0,028	2,5 aA	2,3 aB	186 aA	187 aA	3650 aA	3355 aA
	0,28	2,5 aA	2,4 aA	185 aA	184 aA	3672 aA	3417 aA
	2,8	2,4 aA	2,5 aA	181 aA	183 aA	3305 aA	3268 aA
	28	2,6 aA	2,3 aB	179 aA	186 aA	3260 aA	3231 aA
	Test.	2,5		185		3607	
CV (%)		4,61		3,91		6,74	

Médias seguidas por letras minúsculas distintas nas colunas ou maiúscula nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Médias seguidas por (-) foram inferiores à testemunha pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).

O número de grãos por vagem foi afetado pela interação entre dose e estádio de aplicação do herbicida dicamba, sendo que esta variável sofreu redução de 17 pp na maior dose de dicamba em R₂, assim, como os tratamentos com 2,4-D no estádio R₂ nas doses de 0,028 e de 28 g ea ha⁻¹. Solomon & Bradley (2014) observaram redução do número de grãos por vagem por dicamba, mas não para 2,4-D, concluindo que as aplicações de herbicidas de auxina sintética no estádio R₂ influenciam o número de grãos por vagem de forma mais expressiva que aplicações em V₃.

A interação entre as diferentes doses e os estádios de aplicação reduziram a produtividade da soja em 29 e 76 pp, nos tratamentos que receberam a aplicação de 28 g ea ha⁻¹, nos estádios V₄ e R₂, respectivamente. Griffin et al. (2013) verificaram que 17,5 g ha⁻¹ de dicamba nos estádios V₄ e R₁ reduziram a produtividade de soja em 15 e 36 pp, respectivamente. Auch & Arnold (1978) constataram que a deriva de dicamba no florescimento é mais danosa do que em estádios reprodutivos mais avançados. O rendimento da soja foi reduzido com o aumento das taxas de herbicidas auxínicos sendo que a perda foi maior para o dicamba do que para o 2,4-D (Silva, 2018).

Os danos promovidos pelos herbicidas aplicados em V₄ foram inferiores em relação aos aplicados em R₂, devido ao maior intervalo de tempo para reparação dos danos provocados pelo herbicida entre as aplicações e o final do ciclo (Robinson et al., 2013b). Wax et al. (1969) observaram redução de 23% na produtividade da soja com a aplicação de 4,4 g ha⁻¹ de dicamba no florescimento, enquanto foram necessários 35 g ha⁻¹ para reduzir o rendimento em 20% quando a aplicação foi realizada na fase vegetativa.

Um dos fatores que reduziram a produtividade da soja pela deriva por dicamba (Tabela 4) é atribuído a não recuperação da altura e arquitetura das plantas, resultando em menor desenvolvimento vegetativo, menor área foliar e menor número de nós disponíveis para a formação de inflorescências, vagens e grãos. Os herbicidas do grupo das auxinas sintéticas ativam genes de resposta à auxina (Abel; Theologis, 1996; Kelley et al., 2004; Robinson et al., 2013a), levando à superprodução de etileno e subsequentemente ácido abscísico (Grossmann, 2003, 2010; Robinson et al., 2013a). O aumento da concentração de ácido abscísico provoca o fechamento dos estômatos, limitando a assimilação de CO₂ (Grossmann, 2010; Robinson et al., 2013a).

O herbicida 2,4-D, aplicado em diferentes subdoses e em diferentes estádios fenológicos não reduziu a produtividade da cultura da soja. Resultados semelhantes foram obtidos por Solomon & Bradley (2014) com dose máxima de 28 g ea ha⁻¹. Contudo, Silva et al. (2018) observaram redução de 34 e 17 kg ha⁻¹ na produtividade para cada grama de 2,4-D aplicada nos estádios V₅ e R₂, respectivamente.

1.4 CONCLUSÕES

As subdoses de dicamba reduzem a altura de plantas, provocam injúrias nas folhas e reduzem a produtividade da cultura da soja. As subdoses de 2,4-D não provocaram injúrias e não reduziram a altura das plantas e a produtividade da cultura da soja.

1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-KHATIB, K.; PETERSON, D. Soybean (*Glycine max*) response to simulated drift from selected sulfonylurea herbicides, dicamba, glyphosate, and glufosinate. **Weed Technology**, v. 13, n. 2, p. 264-270, 1999.

ANDERSEN, S. M. et al. Soybean foliage residues of dicamba and 2, 4-D and correlation to application rates and yield. **Agronomy Journal**, v. 96, n. 3, p. 750-760, 2004.

AUCH, D. E.; ARNOLD, W. E. Dicamba use and injury on soybeans (*Glycine max*) in South Dakota. **Weed Science**, v. 26, n. 5, p. 471-475, 1978.

BEHRENS, M. R. et al. Dicamba resistance: enlarging and preserving biotechnology-based weed management strategies. **Science**, v. 316, n. 5828, p. 1185-1188, 2007.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 395p.

EGAN, J. F.; MORTENSEN, D. A. Quantifying vapor drift of dicamba herbicides applied to soybean. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 31, n. 5, p. 1023-1031, 2012.

EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja – Região Central do Brasil 2014**: Embrapa Soja, Londrina, 2013. 265p.

FRANS, R.E. Measuring plant response. In: Wilkinson, R.E. (Ed.). Research methods in weed science [S.l.]: **Southern Weed Science Society**, 1972. p.28-41.

GRIFFIN, J. L. et al. Soybean response to dicamba applied at vegetative and reproductive growth stages. **Weed Technology**, v. 27, n. 4, p. 696-703, 2013.

GROWE, A. M. et al. Effects of Sub-lethal Rates of Dicamba on Maturity Group V and VI Soybean Growth and Yield. 2017.

HEATHERLY, L. G. et al. Managing inputs for peak production. Soybeans: improvement, production, and uses. Madison (USA): Monografia (Agronomia), v. 16, p. 451-536, 2004.

JONES, G. T. Evaluation of Dicamba Off-Target Movement and Subsequent Effects on Soybean Offspring. 2018. 197f. Dissertação (Mestrado Em Ciências De Plantas, Solo E Meio Ambiente) apresentada à Universidade do sudeste do estado de Missouri. 2018.

JOHNSON, V. A. et al. Cotton, peanut, and soybean response to sublethal rates of dicamba, glufosinate, and 2, 4-D. **Weed Technology**, v. 26, n. 2, p. 195-206, 2012.

KELLEY, K. B. et al. Soybean response to plant growth regulator herbicides is affected by other postemergence herbicides. **Weed Science**, v. 53, n. 1, p. 101-112, 2005.

ROBINSON, A.P. et al. Response of soybean yield components to 2,4-D. **Weed Science**, v.61, p.68–76, (2013a).

ROBINSON, A P.; SIMPSON, D. M.; JOHNSON, W. G. Response of glyphosate-tolerant soybean yield components to dicamba exposure. **Weed Science**, v. 61, n. 4, p. 526-536 (2013b).

SENSEMAN, S. A. et al. Herbicide handbook. Lawrence, US: **Weed Science Society of America**, 2007.

SILVA, D. R. O. da et al. Drift of 2, 4-D and dicamba applied to soybean at vegetative and reproductive growth stage. **Ciência Rural**, v. 48, n. 8, 2018.

SOLOMON, C. B.; BRADLEY, K. W. Influence of application timings and sublethal rates of synthetic auxin herbicides on soybean. **Weed Technology**, v. 28, n. 3, p. 454-464, 2014.

SOUZA, L. A.; CUNHA, J. P. A. R.; PAVANIN, L. A. Eficácia e perda do herbicida 2, 4-D amina aplicado com diferentes volumes de calda e pontas de pulverização. **Planta Daninha**, v. 29, n. 2, p. 1149-1156, 2011.

WAX, L. M.; KNUTH, L. A.; SLIFE, F. W. Response of soybeans to 2, 4-D, dicamba, and picloram. **Weed Science**, v. 17, n. 3, p. 388-393, 1969.

WEIDENHAMER, J. D.; TRIPLETT, G. B.; SOBOTKA, F. E. Dicamba injury to soybean. **Agronomy Journal**, v. 81, n. 4, p. 637-643, 1989.

WRIGHT, T. R. et al. Robust crop resistance to broadleaf and grass herbicides provided by aryloxyalkanoate dioxygenase transgenes. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 47, p. 20240-20245, 2010.

CAPÍTULO II – DERIVA SIMULADA DE DICAMBA: EFEITOS SOBRE A QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE SOJA

(Normas de acordo com a Revista Journal of Seed Science)

RESUMO - Com a inserção de variedades de soja tolerantes ao herbicida dicamba, surge a possibilidade de deriva deste herbicida em campos de produção e a ocorrência de redução na qualidade fisiológica das sementes. Objetivou-se avaliar a qualidade fisiológica das sementes de soja em função da aplicação de subdoses de Dicamba em duas fases fenológicas. O delineamento foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. O esquema fatorial $4 \times 2 + 1$ composto por quatro doses (0,028, 0,28, 2,8 e 28 g ea ha⁻¹) de dicamba aplicados em V₄ e R₂ + testemunha. A qualidade fisiológica das sementes foi avaliada após a colheita e aos seis meses após armazenadas a 20° C. Na dose de 28 g ha⁻¹ de dicamba aplicados em V₄ e R₂, as sementes apresentaram redução da germinação em 15 e 42%, respectivamente. Após o armazenamento, as sementes do tratamento com 28 g ha⁻¹ de dicamba apresentaram germinação 64% menor se comparado com a menor dose avaliada e a condutividade elétrica duplicou em relação à testemunha. As sementes de soja têm sua qualidade fisiológica reduzida por subdoses de dicamba aplicadas nos estádios V₄ e R₂ tanto antes quanto após o armazenamento.

Termos para indexação: armazenamento, épocas de aplicação, germinação, *Glycine max*, subdoses.

DICAMBA SIMULATED DRIFT OF: EFFECT ON PHYSIOLOGICAL QUALITY OF SOYBEAN SEEDS

ABSTRACT - With insertion of soybean varieties resistant to dicamba herbicide, the possibility of herbicide drift in production fields and the occurrence of a reduction in the seeds physiological quality appears. The objective of this study was to evaluate the soybean seeds physiological quality as a function of dicamba subdoses application in two phenological phases. The experimental design was a randomized block design with four replications. The $4 \times 2 + 1$ factorial scheme consisted of four dicamba doses (0.028, 0.28, 2.8 and 28 g and ha^{-1}) applied in V_4 and R_2 + control. The seeds physiological quality was evaluated after harvest and six months after storage at 20° C. At the dose of 28 g ha^{-1} of Dicamba applied in V_4 and R_2 , the seeds showed germination reduction in 15 and 42%, respectively. After storage, the seeds of the treatment with 28 g ha^{-1} of dicamba presented germination 64% smaller when compared to the lowest evaluated dose and the electrical conductivity doubled in relation to control. Soybean seeds have their physiological quality reduced by dicamba subdoses applied at the V_4 and R_2 stages both before and after storage.

Index terms: application times, germination, *Glycine max*, storage, subdoses.

2.1 Introdução

O desenvolvimento de variedades de soja com tolerância aos herbicidas hormonais, como 2,4-D e dicamba, tem sido adotada como parte de um programa de manejo de plantas daninhas eudicotiledôneas tolerantes ou resistentes aos herbicidas comumente utilizados na cultura, como o glifosato (Silva et al., 2018). Todavia, esta tecnologia quando não utilizada dentro dos princípios do manejo integrado de plantas daninhas poderá conduzir ao aumento na aplicação destes herbicidas em áreas de produção de soja (Solomon e Bradley, 2014).

A qualidade das sementes de soja pode ser afetada de acordo com o genótipo, as condições edafoclimáticas e os fatores bióticos, e a deterioração da qualidade pode ocorrer durante o armazenamento em condições inadequadas de temperatura e umidade relativa (Zuchi et al., 2013). Após a colheita, a deterioração ocorre, no entanto, pode ser retardada dependendo das condições de armazenamento e das características da semente (Cardoso et al., 2012). A deterioração reduz a qualidade, a viabilidade e o vigor das sementes, pelo envelhecimento ou efeitos de fatores ambientais adversos (Siadat et al., 2012). Desta forma, a deriva de herbicidas sistêmicos nas plantas genitoras pode provocar danos nas sementes de soja, reduzindo sua qualidade fisiológica.

Os herbicidas auxínicos agem de maneira similar ao ácido indolacético (AIA), no entanto, são mais persistentes e mais ativos que o AIA, provocando danos em culturas sensíveis mesmo em concentrações muito baixas (Oliveira Júnior, 2011), como acontece em casos de deriva e de contaminação de pulverizadores. A aplicação de auxinas endógenas em sementes de soja regula negativamente a biossíntese de giberelinas e promove o aumento na concentração de ácido abscísico, resultando em dormência e reduzindo a germinação através do atraso da protusão da radícula (Shuai et al., 2017), além de regularem outros processos hormonais, incluído a biossíntese de giberelinas, que associadas ao ácido abscísico são reguladores de formação de frutos e sementes (Ren e Wang, 2016).

A deriva de herbicidas hormonais pode provocar injúrias nas plantas genitoras, reduzir a produtividade e afetar a qualidade fisiológica das sementes de soja. A aplicação de herbicidas auxínicos nos estádios vegetativo e reprodutivo da soja causa redução da qualidade das sementes (Silva et al., 2018). O dicamba aplicado no estágio reprodutivo da cultura da soja afeta a semente e, conseqüentemente, as plantas da safra seguinte (Barber et al., 2016; Miller e Norsworthy, 2018). Subdoses de dicamba reduziram a germinação e o vigor das sementes de soja (Silva et al., 2018). Robinson et al. (2013) observaram alterações na composição das sementes com reduções nos teores de lipídeos nas sementes de soja tratadas com dicamba em estádios vegetativo e reprodutivo, enquanto o teor de proteínas reduziu quando as aplicações de dicamba ocorreram nos estádios V₂ e V₅ e aumentou nas aplicações feitas em R₂.

Objetivou-se nesta pesquisa avaliar a qualidade fisiológica das sementes de soja em função da aplicação de subdoses de dicamba em duas fases fenológicas (V₄ e R₂) da cultura.

2.2 Material e Métodos

O ensaio foi implantado na área experimental do Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde, GO, localizado nas latitudes 17°48'55"S e longitude 50°56'28"O, sendo as etapas de produção das sementes utilizando a estrutura do laboratório de plantas daninhas e as análises laboratoriais realizadas no laboratório de sementes. O clima da região de acordo com o sistema de classificação climática de Köppen-Geiger é Aw (tropical), com precipitação nos meses de outubro a abril e período seco entre os meses de maio a setembro. O solo do local, de textura argilosa (64,5%), apresentou na

profundidade de 0 a 20 cm: pH (CaCl₂) de 5,4, o teor de matéria orgânica de 3,9% e o índice de saturação por bases de 71%. Durante a condução do experimento em campo a precipitação registrada foi de 147; 244; 267; 136 e 20 mm, enquanto a temperatura média foi de 25,0; 24,4; 24,8; 24,9 e 26,3°C para os meses de novembro e dezembro (2017) e janeiro, fevereiro e março (2018), respectivamente.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. O esquema fatorial adotado foi $4 \times 2 + 1$, com quatro subdoses (0,028, 0,28, 2,8 e 28 g de equivalente ácido por hectare) de dicamba aplicados em dois estádios fenológicos da cultura da soja (V₄ e R₂) + o tratamento adicional, sem aplicação do herbicida. As parcelas foram de 25,2 m², sendo considerada como área útil os cinco metros centrais das cinco linhas de cada parcela.

A variedade de soja utilizada foi a ADV 4672 IPRO e a semeadura foi realizada de forma mecanizada, em sistema de plantio direto, com espaçamento de 0,45 m entre linhas e 18 sementes por metro linear. O tratamento de sementes, tratamentos culturais e o manejo fitossanitário foram realizados conforme EMBRAPA (2013). A simulação da deriva do dicamba foi realizada com pulverizador costal pressurizado com CO₂, regulado para a obtenção de pressão constante de 1,5 bar e volume de calda de 170 L ha⁻¹. As pontas de pulverização usadas foram do tipo leque modelo XR Teejet 8002VB.

A colheita foi realizada de forma manual no estádio R8 (maturação plena - com 95% das vagens com coloração de madura) e a trilhagem das plantas feita em trilhadora mecanizada. Após a trilhagem, realizou-se a limpeza manual das sementes e a secagem destas em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 25°C até que as sementes atingissem 10,5% de umidade. Após a secagem, procedeu-se o armazenamento de parte das sementes obtidas em BOD à temperatura constante de 20°C durante seis meses.

As avaliações da qualidade fisiológica das sementes foram realizadas após a colheita e aos seis meses após o armazenamento a 20°C. As sementes foram acondicionadas em sacos de polietileno e armazenadas em BOD sob condições controladas pelo período de seis meses. A umidade relativa (UR) e a temperatura foram registradas por um “data logger” digital (precisão: 0,1 °C; 5,0% UR). O teor de água não foi afetado pelos tratamentos e os valores foram de 9,92% e 10,64% nas avaliações realizadas antes e após os seis meses de armazenamento, respectivamente.

As avaliações descritas a seguir foram realizadas, com duplicatas de 50 sementes para cada repetição.

Teor de água: determinado segundo as Regras para Análise de Sementes (RAS), utilizando uma amostra com peso entre 4,5 e 5 g pelo método da estufa a $105\pm 3^{\circ}\text{C}$ por 24 horas (Brasil, 2009).

Condutividade elétrica (CE): As sementes de soja foram previamente pesadas (0,001), colocadas para embeber em copos plásticos (200 mL) contendo 75 mL de água deionizada e mantidas a 25°C 24 h^{-1} (Hampton e Tekrony, 1995; Vieira e Krzyzanowski, 1999). Decorrido o período de embebição, realizou-se a leitura da condutividade elétrica, utilizando um condutivímetro digital Technal, modelo TEC-4MP. Os resultados foram expressos em micro Siemens por centímetro por grama ($\mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$).

Germinação (G): As sementes foram colocadas para germinar em substrato de papel de germinação (“germitest”), previamente umedecido em água utilizando 2,5 vezes a massa do papel seco, e mantido a temperatura de 25°C . Na semeadura realizou-se o tratamento das sementes com carbendazim + tiram, na dose de 0,3 e 0,7 g de ingrediente ativo por quilo de semente. As avaliações foram realizadas aos cinco e oito dias após a implantação do teste, e os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais, conforme as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009).

Primeira Contagem de Germinação: A contagem foi realizada no quinto dia após a montagem do teste de germinação (Brasil, 2009). Foram consideradas como germinadas as sementes que apresentavam radícula com comprimento superior a 3 mm.

Índice de Velocidade de Emergência (IVE) e Emergência (E): Os testes foram realizados a partir da semeadura em canteiros contendo substrato areia, com repetições de 50 sementes. A profundidade de semeadura foi de 2,5 cm. As plântulas emergidas foram contadas diariamente até a estabilização numérica das contagens. Foram consideradas como emergidas, as plântulas com cotilédones na posição horizontal. Os resultados do índice de velocidade de emergência foram calculados conforme Maguire (1962).

Envelhecimento acelerado (EA): foram utilizadas caixas “gerbox” com tela metálica horizontal fixada na posição mediana. Foram adicionados 0,04 L de água destilada (para obtenção de, aproximadamente, 100% U.R.) ao fundo de cada gerbox, e sob a tela foram distribuídas 200 sementes de cada tratamento. Em seguida, os gerbox foram tampados e incubados a 41°C por 48 horas (Marcos-Filho et al., 1999). Após este período, as sementes foram submetidas ao teste de germinação, nas mesmas condições descritas anteriormente (Brasil, 2009).

Comprimento de plântula (CP): foram utilizadas dez plântulas provenientes do teste de germinação de cada unidade experimental. A avaliação foi realizada no oitavo dia após a montagem do teste de germinação, e foram selecionadas plântulas classificadas como normais no teste de germinação. O comprimento total da plântula foi determinado a partir da ponta da raiz principal até o ponto de inserção dos cotilédones, com auxílio de régua milimetrada. aos oito dias após a semeadura.

Os resultados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk ($p \leq 0,05$) e atendidas às pressuposições foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$). Quando significativos, os resultados foram submetidos aos testes de Dunnett para contrastes dos tratamentos com a testemunha não tratada e ao teste de Tukey ($p \leq 0,05$) para contraste das médias entre doses e épocas de aplicação do herbicida. Os dados referentes à germinação do teste de envelhecimento acelerado foram transformados em arco seno da raiz de $x/100$, em que x foi o valor em porcentagem. As análises foram feitas por meio do software ASSISTAT (Silva e Azevedo, 2002).

2.3 Resultados e Discussão

Houve interações significativas entre as doses de dicamba (0,028, 0,28, 2,8 e 28 g ea ha⁻¹) e os estádios fenológicos (V₄ e R₂) que o herbicida foi aplicado sobre a porcentagem de germinação (G), e também para a interação entre os fatores e o tratamento testemunha, nas avaliações realizadas logo após a colheita (Tabela 1). A germinação das sementes após a colheita da soja apresentou menores valores quando a cultura foi tratada com a maior dose de dicamba, principalmente quando aplicado no estágio R₂. A dose de 28 g ea ha⁻¹, ou seja, 5% da taxa de uso rotulada, foi suficiente para reduzir a germinação em 14 e 39% em relação à testemunha, para aplicações em V₄ e R₂, respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1. Porcentagem de germinação (G) e primeira contagem de germinação (PCG) de sementes de soja submetidas às subdoses de dicamba aplicadas em V₄ e R₂ nas avaliações realizadas após a colheita da cultura e após seis meses de armazenamento.

Dose (g ea ha ⁻¹)	G (%)		Média	PCG (%)		Média
	V ₄	R ₂		V ₄	R ₂	
Sementes obtidas após a colheita						
0,028	84 abA	90 aA	87	92 aA	97 aA	94
0,28	93 aA	94 aA	93	94 aA	97 aA	95
2,8	90 aA	92 aA	91	93 aA	96 aA	94
28	77 bA ⁽⁻⁾	52 bB ⁽⁻⁾	64	74 aA ⁽⁻⁾	67 aA ⁽⁻⁾	71
Média	86	82	--	88	89	--
Testemunha		91			97	
CV (%)	6,84		--	5,83		--
Sementes armazenadas por seis meses após a colheita						
0,028	77	83	80 a	91	92	92 a
0,28	87	82	84 a	95	91	93 a
2,8	82	70	76 a	93	80	87 a
28	34	23	29 b	63	71	67 b
Média	70	64	--	85	84	--
Testemunha		62			93	
CV (%)	23,90		--	13,99		--

Médias seguidas por letras minúsculas distintas nas colunas ou maiúsculas distintas nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Médias seguidas por (-) foram inferiores à testemunha pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).

O dicamba aplicado no florescimento reduziu a germinação das sementes de soja (Wax et al., 1969). O uso de dicamba no estágio V₅ reduziu em média 14% a germinação das sementes de soja (Silva et al., 2018). Miller e Norsworthy (2018) observaram redução de 5% na germinação das sementes de soja tratadas com 28 g ea ha⁻¹ de dicamba, aplicado em R₂, enquanto na dose de 3,5 g ea ha⁻¹ não houve reduções. Estes autores também observaram redução de 69% na germinação com 28 g ea ha⁻¹ de dicamba aplicado no estágio R₅.

Nas sementes armazenadas, não foi observada interação entre as doses e as épocas de aplicação para a porcentagem de germinação das sementes (Tabela 1), no entanto, verificou-se efeito significativo para as doses, que reduziram a porcentagem de germinação na maior dose aplicada. A dose de 28 g ea ha⁻¹ de dicamba reduziu a germinação em 64% em relação à dose menor testada (Tabela 1). A germinação dos

tratamentos com a dose de 28 g ea ha⁻¹ de dicamba não alcançaram 80% de germinação, mínimo exigido para a comercialização de sementes de soja no Brasil (Brasil, 2005).

Em relação à primeira contagem de germinação das sementes após a colheita da soja, não foi observado efeito da interação entre os fatores doses e épocas de aplicação do herbicida, apenas efeito de doses com redução de 24,5% na dose de 28 g ea ha⁻¹ de dicamba em relação à dose menor (Tabela 1). Para a dose de 28 g ea ha⁻¹ em ambas as épocas de aplicação os valores da PCG ficaram abaixo da testemunha não tratada.

Após o armazenamento, não houve interação significativa entre os fatores, no entanto, as doses de dicamba reduziram a primeira contagem de germinação. Na dose de 28 g ea ha⁻¹ de dicamba a germinação foi de 67%, enquanto nos demais tratamentos a PCG ficou entre 93 e 87% (Tabela 1). Houve redução de 19% na PCG em função das aplicações de 29,8 g ea ha⁻¹ de dicamba em R₂ e de 8% para as aplicações em V₅ (Silva et al., 2018), evidenciando que as subdoses de dicamba reduzem o vigor das sementes de maneira mais expressiva nas aplicações em R₂, desta forma, eventos de deriva que ocorrerem neste estágio torna inviável a produção de sementes de soja.

No teste de envelhecimento acelerado das sementes, após a colheita da soja, não foi observado interação significativa entre os fatores doses de dicamba e estádios de aplicação, no entanto, na dose de 28 g ea ha⁻¹ de dicamba, em V₄ e em R₂, houve redução de 38 e 40% na germinação das sementes de soja em relação à testemunha.

Após o armazenamento não houve interação significativa entre as doses de dicamba e os estádios de aplicação, no entanto houve efeito significativo das doses de dicamba, a porcentagem de germinação no envelhecimento acelerado foi de 5% na maior dose avaliada, enquanto nas demais doses a germinação variou entre 30 e 38% (Tabela 2). Estes dados corroboram com os obtidos por Miller e Norsworthy (2018), que observaram reduções de 18% e 45% na germinação das sementes no teste de envelhecimento acelerado nos tratamentos com 28 g ea ha⁻¹ de dicamba nos estádios R₂ e R₃, respectivamente. Para a dose de 3,5 g ea ha⁻¹ de dicamba, estes mesmos autores não observaram reduções nas aplicações realizadas em R₁, R₂ e R₃.

Tabela 2. Envelhecimento acelerado (EA) e comprimento de plântula (CP) de sementes de soja submetidas às subdoses de dicamba aplicadas em V₄ e R₂ nas avaliações realizadas após a colheita da cultura e após seis meses de armazenamento.

Dose (g ea ha ⁻¹)	EA (%)		Média	CP (cm)		Média
	V ₄	R ₂		V ₄	R ₂	
Sementes obtidas após a colheita						
0,028	78	79	78	8,8	10,3	9,5 a
0,28	80	68	74	11,7	11,1	11,4 a
2,8	75	79	77	11,3	11,2	11,2 a
28	51 ⁽⁻⁾	49 ⁽⁻⁾	50	6,8	6,3	6,5 b
Média	71	69	--	9,6	9,7	--
Testemunha		81			9,2	
CV (%)	12,26		--	14,79		--
Sementes armazenadas por seis meses após a colheita						
0,028	25	37	31 ab	15,4	14,3	14,8 ab
0,28	56	20	38 a	16,1	16,0	16,0 a
2,8	34	26	30 ab	15,4	11,2	13,3 ab
28	3	6	5 b	12,8	8,9	10,8 b
Média	30	22	--	14,9 A	12,6 B	--
Testemunha		35			12,2	
CV (%)	49,36		--	22,06		--

Médias seguidas por letras minúsculas distintas nas colunas ou maiúsculas distintas nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Médias seguidas por (-) foram inferiores à testemunha pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).

O acúmulo de dicamba pode reduzir a germinação das sementes (Auch e Arnold, 1978). O dicamba não metabolizado na planta é transportado para a semente durante os estágios de enchimento de sementes (Thompson e Egli, 1973). Desta forma, em virtude da redução da germinação em função das doses de dicamba, é possível afirmar que as sementes de soja não foram capazes de metabolizar este herbicida durante o período de armazenamento, e reduziu a germinação.

No comprimento das plântulas das sementes após a colheita da soja e das sementes armazenadas, não houve interação entre doses de dicamba e estádios de aplicação, no entanto, o comprimento das plântulas reduziu em função das doses de dicamba (Tabela 2). Nas sementes recém-colhidas, o comprimento reduziu em cerca de 43% na dose de 28

g ea ha⁻¹ quando comparados os tratamentos com 28 g ea ha⁻¹ e o de 0,28 g ea ha⁻¹ (Tabela 2).

Após o armazenamento, o comprimento de plântula reduziu em 33% na dose de 28 g ea ha⁻¹ em relação à dose de 0,28 g ea ha⁻¹. O comprimento de plântula também foi menor quando o dicamba fora aplicado em R₂. Neste estágio, houve redução de 2,3 cm quando comparado com o estágio V₄. O estudo referente ao comprimento e massa seca de plântulas ou de suas partes é eficaz para detectar diferenças sutis de vigor em sementes (Vanzolini et al., 2007). As subdoses de dicamba visando a simulação de deriva reduz a qualidade fisiológica das sementes de soja, afetando o seu vigor, visto que houve menor transferência de nutrientes da semente para a plântula nos tratamentos com 28 g de ea ha⁻¹.

No índice de velocidade de emergência (IVE) das sementes recém-colhidas não houve interação significativa entre os fatores doses e estádios de aplicação de dicamba, no entanto, nas sementes avaliadas após seis meses de armazenamento houve interação significativa entre os fatores testados. O IVE foi menor nas sementes sob uso da maior dose de dicamba, tanto nas sementes quanto nas recém-colhidas e armazenadas (Tabela 3). O IVE das sementes após a colheita da soja que receberam doses menores que 28 g ea ha⁻¹ de dicamba foram superiores à 9, enquanto que para a dose de 28 g ea ha⁻¹ a redução foi de 18% no IVE nas sementes. A emergência lenta, reduzida ou desuniforme pode acarretar falhas no estande, atrasos no desenvolvimento, problemas para o controle de plantas daninhas, interferência em características da planta relacionadas à colheita (Marcos-Filho, 2013).

Tabela 3. Índice de velocidade de emergência (IVE) e porcentagem de emergência (E) de sementes de soja submetidas às subdoses de dicamba aplicadas em V₄ e R₂ nas avaliações realizadas após a colheita da cultura e após seis meses de armazenamento.

Dose (g ea ha ⁻¹)	IVE		Média	E (%)		Média
	V ₄	R ₂		V ₄	R ₂	
Sementes obtidas após a colheita						
0,028	9,6	8,9	9,3 a	96	92	94 a
0,28	9,7	9,0	9,4 a	97	92	94 a
2,8	9,3	9,5	9,4 a	93	93	93 a
28	8,3	7,1	7,7 b	86	71	78 b
Média	9,2	8,6	--	93 A	87 B	--
Testemunha		9,7			95	
CV (%)	9,29		--	8,28		--
Sementes armazenadas por seis meses após a colheita						
0,028	8,3 aA	9,1 aA	8,7	80 aA	85 aA	82
0,28	10,2 aA	8,4 abB	9,3	91 aA	86 aA	88
2,8	8,8 aA	8,8 abA	8,8	83 aA	83 aA	83
28	3,1 bB	6,9 bA	5,0	37 bB	64 bA	50
Média	7,6	8,3	--	73	79	--
Testemunha		8,8			81	
CV (%)	12,76		--	11,54		--

Médias seguidas por letras minúsculas distintas nas colunas ou maiúsculas distintas nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

O IVE das sementes armazenadas nos tratamentos com dose de 28 g ea ha⁻¹ de dicamba, aplicada em V₄ e R₂ foi de 3,1 e 6,9, respectivamente. Nas doses inferiores a esta, o IVE variou entre 8,3 e 10,2, havendo redução de até 70% no IVE (Tabela 3). A velocidade de emergência é fundamental para um rápido estabelecimento das plântulas, desta forma, um maior IVE resulta em melhor desempenho e maior capacidade de resistir a estresses que possam interferir no crescimento e no desenvolvimento da planta (Dan et al., 2010). A ocorrência de deriva de dicamba na dose de 28 g ea ha⁻¹, aproximadamente 6% da dose recomendada, em um campo de produção de sementes de soja pode resultar em dados na prole das plantas de soja contaminada, visto que as subdoses de dicamba reduzem o vigor das sementes de soja.

A porcentagem de emergência em areia após a colheita das sementes não foi influenciada pela interação entre doses e épocas de aplicação, enquanto nas sementes armazenadas, houve interação significativa entre estes dois fatores (Tabela 3). Nas sementes avaliadas após a colheita, a porcentagem de emergência na dose de 28 g ea ha⁻¹ de dicamba, foi de 78%, enquanto na dose de 0,028 g ea ha⁻¹ foi de 94%, representando redução de 17% na emergência das plântulas.

Após o armazenamento, houve redução de até 60% na emergência dos tratamentos com 28 g de ea ha⁻¹, sendo que em V₄ esta redução foi ainda maior quando comparada com R₂ (Tabela 3). Auch e Arnold (1978) observaram reduções na emergência de plântulas de soja devido ao tratamento com 11 e 56 g ha⁻¹ de dicamba. Este herbicida aplicado no florescimento da cultura da alfafa reduziu em até 75 a emergência das sementes (Kesoju et al., 2016).

Reduções severas na velocidade e porcentagem de emergência de plântulas geralmente acarretam problemas durante o desenvolvimento das plantas (Marcos-Filho, 2013). Portanto, a deriva de dicamba tem potencial de reduzir a produtividade das culturas em caso de utilização de sementes que foram contaminadas por este herbicida, uma vez que a redução do potencial fisiológico das sementes afeta de forma indireta a produção agrícola em razão dos reflexos sobre o estande inicial de plantas (Marcos-Filho, 2005; Marcos-Filho, 2013).

Na condutividade elétrica houve interação significativa entre dose e época de aplicação nas sementes avaliadas após a colheita, enquanto para as sementes armazenadas não houve interação significativa (Tabela 4). Após colheita, a condutividade elétrica das sementes foi superior nos tratamentos com 28 g ea ha⁻¹ de dicamba aplicado em R₂, sendo que nesta dose a condutividade elétrica foi 2 vezes superior em relação ao tratamento testemunha e superior aos demais tratamentos.

Tabela 4. Condutividade elétrica (CE) de sementes de soja submetidas às subdoses de dicamba aplicadas em V₄ e R₂ nas avaliações realizadas após a colheita da cultura e após seis meses de armazenamento.

Dose (g ea ha ⁻¹)	CE (μS cm ⁻¹ g ⁻¹)		Média
	V ₄	R ₂	
Sementes obtidas após a colheita			
0,028	81 aA	70 aA	76
0,28	73 aA	73 aA	73
2,8	86 aA	80 aA	83
28	92 aA	140 bB ⁽⁻⁾	116
Média	83	91	--
Testemunha		71	
CV (%)	14,83		--
Sementes armazenadas por seis meses após a colheita			
0,028	111	121	116
0,28	106	115	110
2,8	124	121	123
28	143	196 ⁽⁻⁾	169
Média	121	138	--
Testemunha		95	
CV (%)	21,81		--

Médias seguidas por letras minúsculas distintas nas colunas ou maiúsculas distintas nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Médias seguidas por (-) foram inferiores à testemunha pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).

Após o armazenamento, a condutividade elétrica das sementes provenientes das plantas de soja tratadas com 28 g ea ha⁻¹ de dicamba aplicado em R₂, foi o dobro em relação aos valores do tratamento testemunha; efeito similar ao obtido nas sementes recém-colhidas. Após o armazenamento, a condutividade elétrica da testemunha foi de 95,4 μS cm⁻¹ g⁻¹ e na dose de 28 g ea ha⁻¹ chegou a 142,8 e a 195,9 μS cm⁻¹ g⁻¹, nos estádios V₄ e R₂, respectivamente (Tabela 4). Para sementes de alto vigor, a condutividade elétrica deve estar entre 70 e 80 μS cm⁻¹ g⁻¹ (Vieira e Krzyzanowski, 1999).

O aumento da condutividade elétrica demonstra que houve danos no sistema de membranas celulares (Marcos-Filho et al., 1987), e estes danos acarretam a lixiviação de

açúcares, aminoácidos, eletrólitos, entre outras substâncias solúveis em água (Heydecker, 1974), levando a redução do vigor das sementes atingidas por eventos de deriva de dicamba. Durante a deterioração, os primeiros eventos que ocorrem são a desorganização e perda do controle da permeabilidade das membranas das sementes, fatos estes que resultam com a queda de germinação e a morte do embrião (Delouche e Baskin, 1973).

2.4 Conclusões

Subdoses de dicamba aplicadas nos estádios V₄ e R₂ da cultura da soja reduzem a qualidade fisiológica das sementes após a colheita da cultura e após seis meses de armazenamento. A subdose de 28 g ea ha⁻¹ reduz de forma mais expressiva a germinação, a primeira contagem de germinação, o índice de velocidade e o percentual de emergência, o comprimento das plântulas e a condutividade elétrica das sementes de soja, principalmente quando submetidas ao armazenamento.

2.5 Referências Bibliográficas

AUCH, D.E.; ARNOLD, W.E. Dicamba use and injury on soybeans (*Glycine max*) in South Dakota. *Weed Science*, v.26, n.5, p.471-475, 1978. <https://www.jstor.org/stable/4042904>

BRASIL. Ministério de Agricultura, Pecuária Abastecimento. Instrução Normativa n.25, de 16 de dezembro de 2005. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 dez. 2005, p.18.

CARDOSO, R.B.; BINOTTI, F.F.S.; CARDOSO, E.D. Potencial fisiológico de sementes de crambe em função de embalagens e armazenamento. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.42, p.272-278, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-40632012000300006>

DAN, L.G.M.; DAN, H.A.; BARROSO, A.L.L.; BRACCINI, A.L. Qualidade fisiológica de sementes de soja tratadas com inseticidas sob efeito do armazenamento. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 32, n. 2, p. 131-139, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222010000200016>

DELOUCHE, J.C.; BASKIN, C.C. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. *Seed Science and Technology*, v.1, n.2, p.427-452, 1973. <https://ir.library.msstate.edu/bitstream/handle/11668/13316/F-4.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

EMBRAPA. *Tecnologias de produção de soja – Região Central do Brasil 2014*: Embrapa Soja, Londrina, 2013. 265p.

KESOUJ, S.R.; BOYDSTON, R.A.; GREENE, S.L. Effect of synthetic auxin herbicides on seed development and viability in genetically engineered glyphosateresistant alfalfa. *Weed Technology*, v.30, p.860-868, 2016. <https://dx.doi.org/10.1614/WT-D-16-00045.1>

HEYDECKER, W. Vigour. In: ROBERTS, G.H. (Ed.) *Viability of Seeds*. London: Chapman and Hall, 1974. p.209-520.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination: aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>

MARCOS-FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina: ABRATES, 1999, p.1-24.

MARCOS-FILHO, J. Importância do potencial fisiológico da semente de soja. *Informativo Abrates*, v.23, n.1, p.21-23, 2013. https://www.abrates.org.br/img/informations/950ff7fa-c03a-4960-a520-f6cb0870babe_IA%20vol.23%20n.1.pdf

MARCOS-FILHO, J.; CICERO, S.M.; SILVA, W.R. *Avaliação da qualidade das sementes*. Piracicaba: FEALQ, 1987. 230p.

MILLER, M.R.; NORSWORTHY, J.K. Soybean Sensitivity to Florpyrauxifen-benzyl during Reproductive Growth and the Impact on Subsequent Progeny. *Weed Technology*, v. 32, n. 2, p. 135-140, 2018. <https://dx.doi.org/10.1017/wet.2017.108>

OLIVEIRA JR., R.S. Mecanismo de ação de herbicidas. In: OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M.H. *Biologia e manejo de plantas daninhas*. Curitiba: Ed. Omnipax, p. 141-192, 2011.

REN, Z.; WANG, X. SITIR1 is involved in crosstalk of phytohormones, regulates auxin-induced root growth and stimulates stenospermocarpic fruit formation in tomato. *Plant Science*, v.253, p.13–20, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.09.005>

ROBINSON, A.P.; SIMPSON, D.M.; JOHNSON, W.G. Response of glyphosate-tolerant soybean yield components to dicamba exposure. *Weed Science*, v. 61, n. 4, p. 526-536, 2013. <https://dx.doi.org/10.1614/WS-D-12-00203.1>

SHUAI, H. et al. Exogenous auxin represses soybean seed germination through decreasing the gibberellin/abscisic acid (GA/ABA) ratio. *Nature*, v.7, p.12620, 2017. doi: <https://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-13093-w>

SIADAT, S.A.; MOOSAVI, A.; ZADEH, M.S. Effect of seed priming on antioxidant activity and germination characteristics of Maize seeds under different aging treatments. *Research Journals of Seed Science*, v.5, n.2, p.51-62, 2012. <http://dx.doi.org/10.3923/rjss.2012.51.62>

SILVA, D.R.O.; SILVA, E.D.N.; AGUIAR, A.C.M.; NOVELLO, B.D.; SILVA, A.A.A.; BASSO, C.J. Drift of 2, 4-D and dicamba applied to soybean at vegetative and reproductive growth stage. *Ciência Rural*, v. 48, n. 8, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20180179>

SILVA, F.A.S.; AZEVEDO, C.A.V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.4, p.71-78, 2002. <http://www.deag.ufcg.edu.br/rbpa/rev41/Art410.pdf>

SOLOMON, C.B.; BRADLEY, K.W. Influence of application timings and sublethal rates of synthetic auxin herbicides on soybean. *Weed Technology*, v. 28, n. 3, p. 454-464, 2014. <https://dx.doi.org/10.1614/WT-D-13-00145.1>

THOMPSON, L.; EGLI, D.B. Evaluation of seedling progeny of soybeans treated with 2, 4-D, 2, 4-DB, and dicamba. *Weed Science*, v. 21, n. 2, p. 141-144, 1973. <https://www.jstor.org/stable/4042065>

VANZOLINI, S.; ARAKI, C.A.S.; SILVA, A.C.T.M.; NAKAGAWA, J. Teste de comprimento de plântula na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja. *Revista Brasileira de Sementes*, v.29, p. 90-96, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222007000200012>

VIEIRA, R.D; KRZYZANOWISKI, F.C. Teste de condutividade elétrica. In: KRZYZANOWISKI, F.C; VIEIRA, R.D; FRANÇA NETO, J.B. (Ed). *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina, ABRATES, 1999, p. 1-26.

WAX, L. M.; KNUTH, L. A.; SLIFE, F. W. Response of soybeans to 2, 4-D, dicamba, and picloram. *Weed Science*, v. 17, n. 3, p. 388-393, 1969. <https://www.jstor.org/stable/4041262>

ZUCHI, J.; FRANÇA NETO, J.B.; SEDIYAMA, C.S.; LACERDA FILHO, A.F.; REIS, M.S. Physiological quality of dynamically cooled and stored soybean seeds. *Journal of Seed Science*, v.35, n.1, p.353-360, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S2317-15372013000300012>

CAPÍTULO III - DERIVA SIMULADA DE 2,4-D: EFEITOS SOBRE A QUALIDADE FISIOLÓGICA DAS SEMENTES DE SOJA

SIMULATED 2,4-D DRIFT: EFFECTS ON PHYSIOLOGICAL QUALITY OF SOYBEAN SEEDS

(Normas de acordo com a Revista Agrarian)

Resumo: Com o desenvolvimento de variedades de soja resistentes ao herbicida 2,4-D, aumentam as possibilidades de ocorrência de deriva deste herbicida. Objetivou-se avaliar a qualidade fisiológica das sementes de soja em função da aplicação de subdoses de 2,4-D em duas fases fenológicas (V_4 e R_2) antes e após seis meses de armazenamento. O delineamento foi em blocos ao acaso, com quatro repetições, em esquema fatorial $4 \times 2 + 1$ composto por quatro subdoses (0,028, 0,28, 2,8 e 28 g ea ha⁻¹) de 2,4-D aplicados em V_4 e R_2 da soja + a testemunha sem aplicação de herbicida. A qualidade fisiológica das sementes foi avaliada após a colheita e após seis meses de armazenamento a 20° C. A germinação, a primeira contagem de germinação e a condutividade elétrica não foram afetadas pelos tratamentos com 2,4-D nas sementes recém-colhidas e nas sementes armazenadas. Para o índice de velocidade de emergência, e para a porcentagem de emergência das sementes após o armazenamento, houve redução em função da interação entre subdoses e estágio de aplicação, sendo os tratamentos que receberam a aplicação de 2,8 e 28 g ea ha⁻¹ de ea ha⁻¹ aqueles com menor desempenho. Subdoses de 2,4-D aplicadas em V_4 e em R_2 não diminuem a germinação das sementes de soja recém-colhidas e armazenadas por 6 meses a 20°C, no entanto há redução da velocidade e da porcentagem de emergência após o armazenamento.

Palavras-chave: ácido diclorofenoxiacético, armazenamento de sementes, épocas de aplicação, germinação, subdoses.

Abstract: With the development of soybean varieties resistant to the herbicide 2,4-D, the possibilities for the occurrence of this herbicide increase. The objective of this study was to evaluate the soybean seeds physiological quality as a function of 2,4-D subdoses application in two phenological phases (V₄ and R₂) before and after six months of storage. The design was a randomized complete block design with four replications, in a 4 x 2 + 1 factorial scheme composed of four sub-doses (0.028, 0.28, 2.8 and 28 g and ha⁻¹) of 2,4-D applied in V₄ and R₂ of the soybean + control without herbicide application. The seeds physiological quality was evaluated after harvesting and after six months of storage at 20° C. Germination, first germination count and electrical conductivity were not affected by 2,4-D treatments on freshly harvested seeds and seeds stored. For the emergence speed index, and for seeds emergence percentage after storage, there was a reduction as a function of the interaction between subdoses and the application stage, with the treatments receiving the application of 2.8 and 28 g ea ha⁻¹ of those with lower performance. 2,4-D subdoses applied in V₄ and R₂ do not decrease the newly harvested soybean seeds germination and stored for 6 months at 20°C, however, there is a reduction in the speed and percentage of emergence after storage.

Keywords: dichlorophenoxyacetic acid, germination, seed storage, sublethal rates, times of application.

3.1 Introdução

O desenvolvimento de variedades de soja geneticamente tolerantes ao herbicida 2,4-D poderá acarretar no aumento da aplicação deste herbicida em áreas de produção de soja (Solomon e Bradley, 2014). A adoção desta tecnologia faz parte de um programa de manejo integrado de plantas daninhas eudicotiledôneas, como a buva (*Conyza* spp.), resistentes aos herbicidas usualmente utilizados na cultura da soja (Silva et al., 2018). Em decorrência da seletividade proporcionada e dos menores danos à cultura, o aumento da utilização deste herbicida poderá promover riscos às variedades de soja sensíveis ao 2,4-D, devido ao processo de deriva (Robinson et al., 2013).

Os herbicidas auxínicos agem de maneira similar ao ácido indolacético (AIA), no entanto, são mais persistentes e mais ativos que o AIA. Desta forma, estes herbicidas

provocam danos em culturas sensíveis mesmo em concentrações muito baixas (Oliveira Júnior, 2011), como acontece em casos de deriva e de contaminação de pulverizadores. A deriva destes herbicidas pode provocar injúrias, reduzir a produtividade e afetar a qualidade fisiológica das sementes de soja. Subdoses de 2,4-D reduziram a germinação e o vigor das sementes de soja (Silva et al., 2018). Desta forma, a qualidade fisiológica das sementes reduz em função das alterações nos níveis hormonais nas sementes (Silva et al., 2018). A aplicação de auxinas endógenas em sementes de soja regula negativamente a biossíntese de giberelinas e promove o aumento na concentração de ácido abscísico, resultando em dormência e reduzindo a germinação através do atraso da protusão da radícula (Shuai et al., 2017).

O genótipo, os fatores bióticos e abióticos nos campos de produção de sementes e a deterioração durante o período de armazenamento afetam a qualidade das sementes de soja (Zuchi et al., 2013). Desta forma, a deriva de herbicidas sistêmicos nas plantas genitoras pode provocar danos nas sementes de soja, reduzindo sua qualidade fisiológica, uma vez que este herbicida possui a capacidade de translocar até os pontos de crescimento, inclusive após armazenadas. A baixa porcentagem de germinação, plântulas com crescimento lento e menor desenvolvimento radicular, estão associados a sementes que possuem baixo potencial fisiológico (Nakao et al., 2018). Sementes de baixa qualidade fisiológica resultam em lavouras com maior variabilidade entre as plantas (Cantarelli et al., 2015), que pode dificultar o manejo da lavoura, além de promover reduções na produtividade. A obtenção de sementes de elevado vigor é de grande importância, pois afeta o estabelecimento da cultura, o desenvolvimento das plantas, a uniformidade da lavoura e a produtividade da cultura (Daltro et al., 2010).

Objetivou-se neste trabalho avaliar os efeitos da aplicação de subdoses de 2,4-D em duas fases fenológicas (V_4 e R_2) da cultura sobre a qualidade fisiológica das sementes de soja avaliadas após a colheita e após seis meses de armazenamento.

3.2 Material e Métodos

O ensaio foi implantado na área experimental do Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde, GO, localizado nas latitudes 17°48'55"S e longitude 50°56'28"O. O clima da região de acordo com o sistema de classificação climática de Köppen-Geiger é Aw (tropical), com precipitação nos meses de outubro a abril e período seco entre os meses de maio a setembro. O solo do local, de textura argilosa (64,5%), apresentou na profundidade de 0 a 20 cm: pH (CaCl_2) de 5,4, o teor de matéria orgânica de 3,9% e o

índice de saturação por bases de 71%. Durante a condução do experimento em campo a precipitação registrada foi de 147; 244; 267; 136 e 20 mm, enquanto a temperatura média foi de 25,0; 24,4; 24,8; 24,9 e 26,3°C para os meses de novembro e dezembro (2017) e janeiro, fevereiro e março (2018), respectivamente.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. O esquema fatorial adotado foi $4 \times 2 + 1$, com quatro subdoses (0,028, 0,28, 2,8 e 28 g de equivalente ácido por hectare) de 2,4-D aplicados em dois estádios fenológicos da cultura da soja (V_4 e R_2) + o tratamento adicional, sem aplicação do herbicida. As parcelas foram de 25,2 m², sendo considerada como área útil os cinco metros centrais das cinco linhas de cada parcela.

A variedade de soja ADV 4672 IPRO foi semeada de forma mecanizada, em sistema de plantio direto, com espaçamento de 0,45 m entre linhas e 18 sementes por metro linear. O tratamento de sementes, tratos culturais e o manejo fitossanitário foram realizados conforme necessário. A simulação da deriva do 2,4-D foi realizada com pulverizador costal pressurizado com CO₂, regulado para a obtenção de uma pressão constante de 1,5 bar e volume de calda de 170 L ha⁻¹. As pontas de pulverização usadas foram do tipo leque modelo XR Teejet 8002VB.

A colheita da soja ocorreu de forma manual no estágio R_8 (maturação plena - com 95% das vagens com coloração de madura) e a trilhagem das plantas feita em trilhadora mecanizada. Após a trilhagem, realizou-se a limpeza manual das sementes e a secagem destas em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 25°C até que as sementes atingissem 10,5% de umidade. Após a secagem, procedeu-se o armazenamento de parte das sementes obtidas em BOD à temperatura constante de 20°C durante seis meses.

As avaliações da qualidade fisiológica das sementes foram realizadas após a colheita e aos seis meses após o armazenamento a 20°C. As sementes foram acondicionadas em sacos de polietileno e armazenadas em BOD sob condições controladas pelo período de seis meses. A umidade relativa (UR) e a temperatura foram registradas por um “data logger” digital (precisão: 0,1 °C; 5,0% UR). As avaliações descritas a seguir foram realizadas, com duplicatas de 50 sementes para cada repetição.

Teor de água: determinado segundo as Regras para Análise de Sementes (RAS), utilizando uma amostra com peso entre 4,5 e 5 g pelo método da estufa a 105±3°C por 24 horas (Brasil, 2009).

Condutividade elétrica (CE): As sementes de soja foram previamente pesadas (0,001), colocadas para embeber em copos plásticos (200 mL) contendo 75 mL de água

deionizada e mantidas a 25°C 24 h⁻¹ (Hampton; Tekrony, 1995; Vieira; Krzyzanowski, 1999). Decorrido o período de embebição, realizou-se a leitura da condutividade elétrica, utilizando um condutivímetro digital Technal, modelo TEC-4MP. Os resultados foram expressos em micro Siemens por centímetro por grama ($\mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$).

Germinação (G): As sementes foram colocadas para germinar em substrato de papel de germinação (“germitest”), previamente umedecido em água utilizando 2,5 vezes a massa do papel seco, e mantido a temperatura de 25°C. Na semeadura realizou-se o tratamento das sementes com carbendazim + tiram, na dose de 0,3 e 0,7 g de ingrediente ativo por quilo de semente. As avaliações foram realizadas aos cinco e oito dias após a implantação do teste, e os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais, conforme as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009).

Primeira Contagem de Germinação: A contagem foi realizada no quinto dia após a montagem do teste de germinação (Brasil, 2009). Foram consideradas como germinadas as sementes que apresentavam radícula com comprimento superior a 3 mm.

Índice de Velocidade de Emergência (IVE) e Porcentagem de Emergência (PE): Os testes foram realizados a partir da semeadura em canteiros contendo substrato areia, com repetições de 50 sementes. A profundidade de semeadura foi de 2,5 cm e realizou-se a contagem das plântulas emergidas diariamente até a estabilização numérica das contagens. Foram consideradas como emergidas, as plântulas com cotilédones na posição horizontal. Os resultados do índice de velocidade de emergência calculados conforme Maguire (1962).

Envelhecimento acelerado (EA): foram utilizadas caixas “gerbox” com tela metálica horizontal fixada na posição mediana. Foram adicionados 0,04 L de água destilada (para obtenção de, aproximadamente, 100% U.R.) ao fundo de cada gerbox, e sob a tela foram distribuídas 200 sementes de cada tratamento. Em seguida, os gerbox foram tampados e incubados a 41°C por 48 horas (Marcos-Filho et al., 1999). Após este período, as sementes foram submetidas ao teste de germinação, nas mesmas condições descritas anteriormente (Brasil, 2009).

Massa de matéria seca (MMS): foram utilizadas dez plântulas por unidade experimental, das quais foram extraídos os cotilédones, e em seguida foram acondicionadas em sacos de papel Kraft e colocadas em estufa com circulação de ar a 80°C por 24 horas. Após a secagem foi realizada a pesagem e os resultados expressos em mg por plântula (Vieira; Krzyzanowski, 1999).

Os resultados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk ($p \leq 0,05$) e atendidas as pressuposições foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$). Quando significativos, os resultados foram submetidos ao teste de Tukey ($p \leq 0,05$) para contraste das médias entre subdoses e épocas de aplicação do herbicida. Os dados referentes à germinação do teste de envelhecimento acelerado foram transformados em arco seno da raiz quadrada de $x/100$, em que x foi o valor em porcentagem. As análises estatísticas foram feitas por meio do software ASSISTAT (Silva e Azevedo, 2002).

3.3 Resultados e Discussão

Não foi observado diferença estatística para o teor de água das sementes de soja. As médias encontradas foram de 10,64 e de 10,06%, nas sementes avaliadas após a colheita e após o armazenamento, respectivamente. A uniformidade no teor de água das sementes é importante na execução dos testes, pois a uniformização é imprescindível na obtenção de resultados consistentes (Marcos-Filho et al., 1987).

Em relação à germinação, à primeira contagem de germinação (Tabela 1) e à condutividade elétrica (Tabela 2) não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos visando a simulação de deriva de 2,4-D em diferentes doses e estágios fenológicos da cultura da soja nas avaliações realizadas após a colheita e após seis meses de armazenamento. Para o envelhecimento acelerado (Tabela 2), o índice de velocidade de emergência e a porcentagem de emergência (Tabela 3), foram verificadas diferenças significativas nas avaliações realizadas após o armazenamento, demonstrando que as subdoses de 2,4-D aplicadas em R2 reduzem a qualidade fisiológica das sementes de soja após armazenamento na temperatura de 20°C por 6 meses.

A germinação das sementes avaliadas após a colheita e após o armazenamento não foi influenciada pela interação entre as subdoses de 2,4-D (0,028, 0,28, 2,8 e 28 g ea ha⁻¹) e as épocas de aplicação (V₄ e R₂) da cultura da soja (Tabela 1). A germinação das sementes, após a colheita variou entre 91 e 97% nos tratamentos com 2,4-D, enquanto na testemunha foi de 97%. Todos os valores de germinação das sementes avaliadas após a colheita da soja foram superiores aos 80%, estando de acordo com os padrões mínimos exigidos para comercialização de sementes de soja no Brasil (Brasil, 2005).

Tabela 1. Porcentagem de germinação (G) e primeira contagem de germinação (PCG) de sementes de soja submetidas às subdoses de 2,4-D aplicadas em V₄ e R₂ nas avaliações realizadas após a colheita da cultura e após seis meses de armazenamento

Dose (g ea ha ⁻¹)	G (%)		Média	PCG (%)		Média
	V ₄	R ₂		V ₄	R ₂	
Sementes obtidas após a colheita						
0,028	91	95	95	95	97	96
0,28	92	97	94	95	98	97
2,8	96	96	95	97	96	96
28	96	93	93	97	95	96
Média	94	95	--	96	96	--
Testemunha	97			98		
CV (%)	3,43		--	1,69		--
Sementes armazenadas por seis meses após a colheita						
0,028	82	85	83	96	96	96
0,28	83	92	88	94	98	96
2,8	87	84	85	98	98	98
28	82	77	80	97	96	97
Média	83	85	--	96	97	--
Testemunha	84			97		
CV (%)	6,87		--	2,10		--

Estes resultados corroboram com os obtidos por Wax et al. (1969) que observaram pouco ou nenhum efeito do 2,4-D aplicado no pré-florescimento e no florescimento, sobre a germinação das sementes de soja. Da mesma forma, Neves et al. (1998) não observaram efeitos dos tratamentos referentes a aplicação de 5 e 10 g ea ha⁻¹ de 2,4-D no início do florescimento e no início da formação de vagens sobre a germinação das sementes de soja. Por outro lado, Silva et al. (2018) observaram redução média de 10% na germinação de sementes produzidas por plantas que receberam aplicação de 42 g ea ha⁻¹ de 2,4-D em R₂.

Após o armazenamento não houve diferenças na germinação das sementes em função dos tratamentos (Tabela 1). As sementes apresentaram menores valores de germinação após armazenadas por seis meses em relação às obtidas após a colheita,

independentemente dos tratamentos, contudo, ressalta-se que as sementes provenientes de plantas de soja tratadas com 28 g ea ha⁻¹ em R₂ apresentaram 77% de germinação, valores situados abaixo dos padrões exigidos para comercialização de sementes de soja no Brasil (Brasil, 2005).

A primeira contagem de germinação não foi influenciada pelos tratamentos nas avaliações realizadas após a colheita e após o armazenamento das sementes (Tabela 1). A média da primeira contagem de germinação das sementes foi de 96% após a colheita e de 97% nas sementes armazenadas (Tabela 1). Silva et al. (2018) observaram redução de 8% na primeira contagem de germinação para a aplicação de 41,5 g ea ha⁻¹ de 2,4-D quando realizada em R₂. No entanto, cabe ressaltar que esta subdose é cerca de 50% superior à utilizada no presente trabalho e que na subdose de 20,8 g ea ha⁻¹, utilizada por Silva et al. (2018), não reduziu a primeira contagem de germinação de maneira expressiva.

Para a germinação no teste de envelhecimento acelerado das sementes após a colheita foi observado apenas efeito de subdoses do herbicida, com redução da germinação em 6% entre a menor e a maior subdose testada (Tabela 2). No envelhecimento acelerado após o armazenamento observou-se interação entre as subdoses de 2,4-D e os estádios de aplicação do herbicida 2,4-D (Tabela 2).

Tabela 2. Envelhecimento acelerado (EA) e condutividade elétrica (CE) de sementes de soja submetidas às subdoses de 2,4-D aplicadas em V₄ e R₂ nas avaliações realizadas após a colheita da cultura e após seis meses de armazenamento

Dose (g ea ha ⁻¹)	EA (%)		Média	CE (μS cm ⁻¹ g ⁻¹)		Média
	V ₄	R ₂		V ₄	R ₂	
Sementes obtidas após a colheita						
0,028	95	95	95 a	63	68	66
0,28	95	93	94 ab	69	69	69
2,8	93	93	93 ab	69	65	67
28	90	89	89 b	64	76	70
Média	93	92	--	66	70	--
Testemunha	97			69		
CV (%)	4,48		--	8,73		--
Sementes armazenadas por seis meses após a colheita						
0,028	35 aA	25 aA	31	114	78	96
0,28	31 abA	31 aA	31	114	97	105
2,8	33 abA	21 aB	27	95	103	99
28	22 bA	27 aA	25	112	107	109
Média	30	26	--	109	96	--
Testemunha	20			107		
CV (%)	32,59		--	19,98		--

Médias seguidas por letras minúsculas distintas nas colunas ou maiúsculas distintas nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A germinação no EA das sementes armazenadas foi 64% menor na subdose de 2,8 g ea ha⁻¹ aplicado em R₂, em relação esta mesma subdose em V₄, representando 25 e 9% de germinação, respectivamente. Em relação à dose menor avaliada e aplicada no reprodutivo, a germinação no EA foi 55% menor aplicada em R₂. O EA das sementes armazenadas reduziu também na dose de 28 g ea ha⁻¹, sendo observadas reduções de até 23% na germinação (Tabela 2). O teste de envelhecimento acelerado induz reações oxidativas nos constituintes celulares da semente (Menezes et al., 2014). Desta forma, as sementes avaliadas após a colheita e após o armazenamento de seis meses, após passarem

pelo envelhecimento acelerado tiveram sua qualidade fisiológica reduzida neste teste, demonstrando os efeitos deletérios do 2,4-D sobre a qualidade das sementes.

Diversos autores relatam a redução da qualidade fisiológica das sementes de soja após armazenamento. O armazenamento durante seis meses em condição ambiente reduziu o vigor das sementes de soja (Cunha et al., 2009). Barbosa et al. (2010) observaram perda de vigor nas sementes de soja durante os seis meses de armazenamento com temperatura de 23°C.

A condutividade elétrica das sementes de soja não foi afetada pelos tratamentos (Tabela 2). Contudo, após a colheita das sementes a condutividade elétrica apresentou valores médios entre 66 a 70 $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$, enquanto o armazenamento afetou a condutividade elétrica das sementes, com valores médios entre 78 e 114 $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$. Para sementes de alto vigor, a condutividade elétrica deve estar entre 70 e 80 $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ (Vieira; Krzyzanowski, 1999). O aumento da condutividade elétrica em função do armazenamento confirma danos no sistema de membranas celulares (Marcos-Filho et al., 1987), levando a redução do vigor das sementes armazenadas independentemente da ação do herbicida. Este fato evidencia a ausência de danos no sistema de membranas das sementes produzidas por plantas que passaram por eventos de deriva simulada de 2,4-D com subdoses de até 28 g ea ha⁻¹ nos estádios V₄ e R₂.

O índice de velocidade de emergência e a porcentagem de emergência das sementes de soja avaliadas após a colheita da cultura não foram afetadas pelos tratamentos (Tabela 3). Todavia, após o armazenamento houve interação significativa entre as subdoses de 2,4-D e as épocas de aplicação do herbicida para ambas as variáveis (Tabela 3). Para o IVE e PE foram observados menores valores de IVE quando o herbicida 2,4-D foi aplicado na fase reprodutiva nas duas maiores subdoses, 2,8 e de 28 g ha⁻¹, em relação aos demais tratamentos, enquanto o PE foi afetado somente na maior subdose aplicada em R₂. Kesoju et al. (2016) relataram que o 2,4-D aplicado na dose de 1100 g ea ha⁻¹ na fase de florescimento da cultura da alfafa reduziu em até 45% a emergência das sementes provenientes das plantas tratadas. A velocidade de emergência é fundamental para o estabelecimento mais rápido das plântulas, e desta forma, maior IVE resulta em melhor desempenho e maior capacidade de resistir a estresses que possam interferir no crescimento e no desenvolvimento das plantas (Dan et al., 2010).

Tabela 3. Índice de velocidade de emergência (IVE) e porcentagem de emergência (PE) de sementes de soja submetidas às subdoses de 2,4-D aplicadas em V₄ e R₂ nas avaliações realizadas após a colheita da cultura e após seis meses de armazenamento

Dose (g ea ha ⁻¹)	IVE		Média	PE (%)		Média
	V ₄	R ₂		V ₄	R ₂	
Sementes obtidas após a colheita						
0,028	11,0	10,9	11,0	94	92	93
0,28	10,3	11,1	10,7	89	93	91
2,8	10,2	9,6	9,9	88	83	86
28	10,7	10,7	10,7	90	92	91
Média	10,5	10,6	--	90	90	--
Testemunha	11,3			97		
CV (%)	8,28		--	7,84		--
Sementes armazenadas por seis meses após a colheita						
0,028	8,5 aA	8,6 abA	8,6	91 aA	92 aA	91
0,28	8,4 aA	8,9 aA	8,7	90 aA	94 aA	88
2,8	9,1 aA	7,9 bcB	8,5	95 aA	89 abA	92
28	8,9 aA	7,5 cB	8,2	93 aA	85 bB	89
Média	8,7	8,2	--	90	90	--
Testemunha	8,4			91		
CV (%)	4,98		--	3,11		--

Médias seguidas por letras minúsculas distintas nas colunas ou maiúsculas distintas nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

O 2,4-D é um herbicida sistêmico e à deriva deste herbicida possui potencial de reduzir a produtividade das culturas e afetar a qualidade das sementes em caso de contaminação pela deriva ou até mesmo pela contaminação dos pulverizadores por estes herbicidas. A redução na qualidade das sementes é, em geral, traduzida pelo decréscimo no vigor das plântulas e na germinação das sementes (Toledo et al., 2009). Com isto, a redução do potencial fisiológico das sementes promove emergência lenta, reduzida ou desuniforme, acarretando falhas no estande, atrasos no desenvolvimento das plantas, problemas para o controle de plantas daninhas e interferência em características da planta relacionadas à colheita (Marcos-Filho, 2013).

3.4 Conclusões

Subdoses de 2,4-D aplicadas em V₄ e em R₂ não reduzem a germinação das sementes de soja recém-colhidas e armazenadas, no entanto, há redução do vigor verificado pelo envelhecimento acelerado e pela velocidade e porcentagem de emergência das sementes após o armazenamento nas doses de 2,8 e 28 g ea ha⁻¹ aplicada em R₂.

3.5 Referências Bibliográficas

BARBOSA, C. Z. R.; SMIDERLE, O. J.; ALVES, J. M. A.; VILARINHO, A. A.; SEDIYAMA, T. Qualidade de sementes de soja BRS Tracajá, colhidas em Roraima em função do tamanho no armazenamento. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, n.1, p.73-80, 2010.

BRASIL. Ministério de Agricultura, Pecuária Abastecimento. Instrução Normativa n.25, de 16 de dezembro de 2005. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 dez. 2005. p.18.

CANTARELLI, L. D.; SCHUCH, L. O. B.; RUFINO, C. A.; TAVARES, L. C.; VIEIRA, J. F. Physiological seeds quality: spatial distribution and variability among soybean plant population. **Bioscience Journal**, v.31, n.2, p.344-351, 2015.

CUNHA, J. P. A. R. da; OLIVEIRA, P. de; SANTOS, C. M. dos; MION, R. L. Qualidade das sementes de soja após a colheita com dois tipos de colhedora e dois períodos de armazenamento. **Ciência Rural**, v.39, p.1420-1425, 2009.

DAN, L. G de M.; DAN, H. A.; BARROSO, A. L. L.; BRACCINI, A. L. et al. Qualidade fisiológica de sementes de soja tratadas com inseticidas sob efeito do armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, v.32, n.2, p.131-139, 2010.

DALTRO, E. M. F.; ALBUQUERQUE, M. C. F.; FRANÇA NETO, J. B.; GUIMARÃES, S. C.; GAZZIERO, D. L. P.; HENNING, A. A. Aplicação de dessecantes em pré-colheita: efeito na qualidade fisiológica de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.32, n.1, p.111-122, 2010.

KESOJU, S. R.; BOYDSTON, R. A.; GREENE, S. L. Effect of synthetic auxin herbicides on seed development and viability in genetically engineered glyphosate-resistant alfalfa. **Weed Technology**, v.30, p.860-868, 2016.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination: aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v.2, n.2, p.176-177, 1962.

MARCOS-FILHO, J. Importância do potencial fisiológico da semente de soja. **Informativo Abrates**, v.23, n.1, p.21-23, 2013.

MARCOS-FILHO, J.; CICERO, S. M.; SILVA, W. R. **Avaliação da qualidade das sementes**. Piracicaba: FEALQ, 1987. 230p.

MARCOS-FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D. & FRANÇA-NETO, J. B. (eds.). Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina: ABRATES, 1999. cap.3, p.1-24.

MENEZES, V. O.; LOPES, S. J.; TEDESCO, S. B.; HENNING, F. A.; ZEN, H. D.; MERTZ, L. M. Cytogenetic analysis of wheat seeds submitted to artificial aging stress. **Journal of Seed Science**, v.36, n.1, p.71-78, 2014.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseado no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D. & FRANÇA-NETO, J. B. (eds.). Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina: ABRATES, 1999, p.1-24.

NAKAO, A. H.; COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; SOUZA, M. F. P.; DICKMANN, L.; CENTENO, D. C.; CATALANI, G. C. Características agronômicas e qualidade fisiológica de sementes de soja em função da adubação foliar com boro e zinco. **Cultura Agronômica: Revista de Ciências Agronômicas**, v.27, n.3, p.312-327, 2018.

NEVES, R.; FLECK, N. G.; SILVEIRA, C. A. D.; COSTA, E. L. N. Ação de herbicidas sistêmicos não-seletivos sobre a progénie de soja quando aplicados durante a fase reprodutiva das plantas-mãe. **Ciência Rural**. Santa Maria. Vol.28, n.3, p.367-371, 1998.

OLIVEIRA Jr., R. S. Mecanismo de ação de herbicidas. In: OLIVEIRA Jr., R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. *Biologia e manejo de plantas daninhas*. Curitiba: Ed. Ompipax, p.141-192, 2011.

ROBINSON, A. P.; DAVIS, V. M.; SIMPSON, D. M.; JOHNSON, W. G. Response of soybean yield components to 2,4-D. **Weed Science**, v.61, p.68–76, 2013.

SHUAI, H.; MENG, Y., LUO, X.; CHEN, F.; ZHOU, W.; DAI, Y.; QI, Y.; DU, J.; YANG, F.; LIU, J.; YANG, W.; SHU, K. Exogenous auxin represses soybean seed germination through decreasing the gibberellin/abscisic acid (GA/ABA) ratio. **Nature**, v.7, p.12620, 2017.

SILVA, D. R. O. D.; SILVA, E. D. N. D.; AGUIAR, A. C. M. D.; NOVELLO, B. D. P.; SILVA, Á. A. A. D.; BASSO, C. J. Drift of 2, 4-D and dicamba applied to soybean at vegetative and reproductive growth stage. **Ciência Rural**, v.48, n.8, 2018.

SILVA, F. D. A. E.; AZEVEDO, C. D. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 4, n. 1, p. 71-78, 2002.

SOLOMON, C. B.; BRADLEY, K. W. Influence of application timings and sublethal rates of synthetic auxin herbicides on soybean. **Weed technology**, v.28, n.3, p.454-464, 2014.

TOLEDO, M. Z.; FONSECA, N. R.; CESAR, M. L.; SORATTO, R. P.; CAVARIANI, C.; CRUSCIOL, C. A. C. Qualidade fisiológica e armazenamento de sementes de feijão em função da aplicação tardia de nitrogênio em cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.39, n.2, p.124-133, 2009.

VIEIRA, R. D; KRZYZANOWISKI, F. C. Teste de condutividade elétrica. In: KRZYZANOWISKI, F. C; VIEIRA, R. D; FRANÇA NETO, J. B. (Ed). *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina, ABRATES, 1999, p.1-26.

WAX, L. M.; KNUTH, L. A.; SLIFE, F. W. Response of soybeans to 2, 4-D, dicamba, and picloram. **Weed Science**, v.17, n.3, p.388-393, 1969.

ZUCHI, J.; FRANÇA NETO, J. B.; SEDIYAMA, C. S.; LACERDA FILHO, A. F.; REIS, M. S. Physiological quality of dynamically cooled and stored soybean seeds. **Journal of Seed Science**, v.35, n.1, p.353-360, 2013.

CONCLUSÃO GERAL

As subdoses de dicamba provocam injúrias nas plantas de soja e reduzem a produtividade da cultura, tanto nas aplicações em V₄, quanto nas aplicações em R₂. As subdoses de 2,4-D não provocaram injúrias nas plantas de soja e não reduziram a produtividade da cultura.

Subdoses de dicamba aplicadas nos estágios V₄ e R₂ da cultura da soja reduzem a qualidade fisiológica das sementes, verificada através da redução da porcentagem de germinação e das variáveis relacionadas com o vigor, tanto nas avaliações realizadas após a colheita da cultura, quanto nas avaliações realizadas após seis meses de armazenamento.

Subdoses de 2,4-D aplicadas em V₄ e em R₂ não reduzem a germinação das sementes de soja recém-colhidas e armazenadas, no entanto, há redução do vigor verificado pelo envelhecimento acelerado e pela velocidade e porcentagem de emergência das sementes após o armazenamento nas doses de 2,8 e 28 g ea ha⁻¹ aplicada em R₂.