

LAÍS MARIA BONADIO PRECIPITO

**DICAMBA E 2,4-D APLICADOS ISOLADAMENTE OU EM MISTURA EM
CULTURA SENSÍVEL**

Botucatu

2023

LAÍS MARIA BONADIO PRECIPITO

**DICAMBA E 2,4-D APLICADOS ISOLADAMENTE OU EM MISTURA EM
CULTURA SENSÍVEL**

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus
de Botucatu, para obtenção do título de
Doutora em Agricultura

Orientador: Edivaldo Domingues Velini

Botucatu

2023

P923d Precipito, Lais
Dicamba e 2,4-D aplicados isoladamente ou em
mistura em cultura sensível / Lais Precipito. –
Botucatu, 2023
73 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Faculdade de Ciências Agrônomicas,
Botucatu
Orientador: Edivaldo Domingues Velini

1. Herbicidas auxínicos. 2. Plantas bioindicadoras.
3. Bioensaio. 4. Plantas sensíveis. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp.
Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu. Dados
fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título:

DICAMBA F 2,4-D APLICADOS SOLADAMENTE OU EM MISTURA EM CULTURA SENSÍVEL

AUTORA: LAIS MARIA BONADIO PRECIPITO

ORIENTADOR: EDIVALDO DOMINGUES VELINI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Agronomia (Agricultura), pela Comissão Examinadora:

Edivaldo Domingues Velini

Prof. Dr. EDIVALDO DOMINGUES VELINI (Participação Presencial)
Proteção Vegetal / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu

Edivaldo Domingues Velini

Pesquisador Dr. ROBINSON OSIPE (Participação Virtual)
Produção Vegetal / Estação Dashon - Consultoria e Pesquisa Agrônômica

Edivaldo Domingues Velini

Professor Adjunto RÔQUE DE CARVALHO DIAS (Participação Virtual)
/ Universidade Federal do Triângulo Mineiro

Rone Batista de Oliveira

Prof. Dr. RONE BATISTA DE OLIVEIRA (Participação Presencial)
Engenharia e Desenvolvimento Agrário / Universidade Estadual do Norte do Paraná

Ana Karollyna Alves de Matos

Prof.ª Dr.ª ANA KAROLLYNA ALVES DE MATOS (Participação Presencial)
Pós-Doutoranda - Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu

Botucatu, 07 de julho de 2023.

*Aos meus amados pais, José Antonio Precipito e
Maria Alice Bonadio Precipito; Ao meu esposo e
maior incentivador, Lucas Mansano da Costa,*

dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pela vida, por me abençoar e capacitar para viver cada etapa dela. Agradeço à Virgem Maria, por passar na frente nos meus caminhos e ao meu Santo Anjo, pela proteção e amparo de todos os momentos. Graças e louvores sejam dados a todo momento, ao Santíssimo e Diviníssimo Sacramento.

Agradeço aos meus pais, José Antonio e Maria Alice por todo apoio e suporte incondicional, por nunca medirem esforços para crescermos, por ser exemplo de humildade, sacrifício e amor ao próximo. Ao meu marido Lucas Costa, por ser meu grande parceiro de caminhada e meu porto seguro, te amo! Aos meus irmãos, Lis Maria e José Rodolfo por me darem as maiores preciosidades da minha vida: minhas amadas sobrinhas: Maria Luísa e Maria Laura.

Agradeço ao meu orientador, Edivaldo Velini por todo conhecimento compartilhado. Tenho uma grande admiração pela pessoa e pelo profissional excepcional que és. Muito obrigada pelo tempo convivido e conselhos compartilhados. Me lembro de ligar para pedir conselho sobre encarar um grande desafio no Rio Grande do Sul, e o senhor me encorajou muito.

Agradeço ao Professor Caio Carbonari pelos ensinamentos compartilhados e contribuições. Obrigada Professor Rone Batista de Oliveira por me inserir no mundo da pesquisa. Agradeço a todos os professores que contribuíram em toda a minha jornada de estudos.

Agradeço às grandes amigadas que o NUPAM me proporcionou: Tamara Mundt, Valesca Miranda, Ana Karollyna Matos, Ivana Ferraz, Luanna Gomes, Natália Bevilaqua, Isabela Thaís dos Santos, e especialmente à uma irmã que encontrei aqui, a Ivana Moisinho. Obrigada meninas pelos bons momentos, ensinamentos e parceria! Aos amigos, Plínio Saulo Simões, Leandro Bianchi, Roque de Carvalho Dias, Renato Nunes Costa, pela colaboração e experiências compartilhadas. Aos técnicos e funcionários do Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia, José Roberto Marques Silva, José Guilherme Ferreira Cordeiro e Luis Marcelo Siono pelo auxílio e convivência.

Agradeço a todas as pessoas que cruzaram meu caminho e fizeram a caminhada mais leve e feliz.

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia/Agricultura e à Faculdade de Ciências Agrônômicas, pela oportunidade e formação;

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil – CAPES – Código de financiamento 001.

RESUMO

No mercado, há cultivares agrícolas que possibilitam a aplicação de herbicidas auxínicos em pós emergência da cultura. Um exemplo disso é a tecnologia Enlist®, que permite o uso de 2,4-D, glyphosate e amônio-glufosinate e a tecnologia Intacta2 Xtend®, que possui tolerância ao dicamba e ao glyphosate. Mesmo doses baixas de herbicidas auxínicos têm grande potencial de causar fitointoxicação de culturas comerciais sensíveis, sendo esta, uma preocupação para produtores que não adotam essas tecnologias ou ainda, aqueles que possuem culturas sensíveis próximas aos produtores que utilizam essas tecnologias. A eficiência das doses letais desses herbicidas é conhecida, mas o efeito de subdoses precisa ser mais explorado. Em vista da disponibilidade dessas tecnologias no campo, sendo uma cultura tolerante ao herbicida 2,4-D e outra ao dicamba, as plantas sensíveis ficam expostas à deriva desses herbicidas. O objetivo do trabalho desenvolvido foi estudar a complementaridade de subdoses dos herbicidas 2,4-D e dicamba quanto à intoxicação de culturas sensíveis. O presente trabalho foi dividido em dois estudos, sendo o primeiro denominado como escolha da planta bioindicadora. Foi conduzido um ensaio de curva de dose-resposta com plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*), beterraba (*Beta vulgaris*) e pepino (*Cucumis sativus*) aplicando diferentes doses dos herbicidas 2,4 -D e dicamba. Foram aplicadas nove doses dos herbicidas 2,4-D e dicamba, sendo a dose mais elevada equivalente a 40% da dose recomendada nas instruções, e as demais doses correspondentes a 20%, 10%, 5%, 2,5%, 1,25%, 0,625%, 0,3125% e 0 da dose recomendada. As quantidades de herbicidas utilizadas foram as seguintes: 2,4-D (0; 0,014; 0,028; 0,057; 0,114; 0,227; 0,455; 0,909 e 1,819 mol ha⁻¹) e dicamba (0; 0,010; 0,020; 0,041; 0,081; 0,163; 0,326; 0,651; 1,303 mol ha⁻¹), com cinco repetições totalizando 27 tratamentos, sendo o estudo repetido em dois diferentes momentos. No segundo estudo, foi testado a sensibilidade do pepino aos herbicidas 2,4-D e dicamba isolados e em mistura complementar. Foram aplicadas, subdoses dos herbicidas em 40%, 20%, 10%, 5%, 2,5% e 1,25% da dose de 1,5 L p.c. ha⁻¹ dos herbicidas 2,4-D e dicamba isolados e em mistura complementar, em um segundo experimento foram selecionadas novas subdoses para estudo do efeito da complementaridade dos herbicidas 2,4-D e dicamba isolados e em mistura, a fim de demonstrar a sinergia dos herbicidas quanto a redução de massa seca e maior sensibilidade da cultura a um determinado herbicida, foi utilizado os tratamentos:

Testemunha: 0; Tratamento 1: 0,20 Mol ha⁻¹ 2,4-D + 0 Mol ha⁻¹ dicamba; Tratamento 2: 0,15 Mol ha⁻¹ 2,4-D + 0,05 Mol ha⁻¹ dicamba; Tratamento 3: 0,10 Mol ha⁻¹ 2,4-D + 0,10 Mol ha⁻¹ dicamba; Tratamento 4: 0,05 Mol ha⁻¹ 2,4-D + 0,015 Mol ha⁻¹ dicamba; Tratamento 5: 0 Mol Mol ha⁻¹ 2,4-D + 0,20 Mol ha⁻¹ dicamba. Com base no comportamento da variável analisada em função das doses e sensibilidade da espécie, em que o aumento da dose proporcionou redução gradual e efetiva, a espécie de pepino se demonstrou mais adequada para realização de estudo posteriores. Pode-se concluir que há redução no acúmulo de massa seca de plantas de pepinos quando submetidos a aplicação de dicamba e 2,4-D isolados e em mistura, e que o aumento das doses dos herbicidas dicamba e 2,4-D isolados e em mistura favorecem o aumento da fitotoxicidade e redução do acúmulo de massa seca de plantas de pepino. Utilizando pepino como planta indicadora, os herbicidas 2,4-D e dicamba apresentaram efeitos aditivos ou sinérgicos em termos de intoxicação e redução da biomassa.

Palavras-chave: herbicidas auxínicos; deriva; culturas sensíveis; sinérgismo; fitotoxicidade.

ABSTRACT

On the market, there are agricultural cultivars that allow the application of auxinic herbicides in post emergence of the crop. An example of this is the Enlist® technology, which allows the use of 2,4-D, glyphosate and ammonium-glufosinate and the Intacta2 Xtend® technology, which is tolerant to dicamba and glyphosate. Even low doses of auxinic herbicides have great potential to cause phytotoxicity in sensitive commercial crops, which is a concern for producers who do not adopt these technologies or even those who have sensitive crops close to producers who use these technologies. The efficiency of lethal doses of these herbicides is known, but the effect of underdoses needs to be further explored. In view of the availability of these technologies in the field, with one crop tolerant to the 2,4-D herbicide and the other to dicamba, sensitive plants are exposed to the drift of these herbicides. The objective of the work carried out was to study the complementarity of sub-doses of the herbicides 2,4-D and dicamba regarding the intoxication of sensitive crops. The present work was divided into two studies, the first being called the choice of bioindicator plant. A dose-response curve assay was conducted with tomato (*Solanum lycopersicum*), beet (*Beta vulgaris*) and cucumber (*Cucumis sativus*) plants applying different doses of 2,4-D and dicamba herbicides. Nine doses of 2,4-D and dicamba herbicides were applied, with the highest dose equivalent to 40% of the dose recommended in the instructions, and the remaining doses corresponding to 20%, 10%, 5%, 2.5%, 1.25%, 0.625%, 0.3125% and 0 of the recommended dose. The amounts of herbicides used were the following: 2,4-D (0; 0.014; 0.028; 0.057; 0.114; 0.227; 0.455; 0.909 and 1.819 mol ha⁻¹) and dicamba (0; 0.010; 0.020; 0.041; 0.081; 0.163; 0.326; 0.651; 1.303 mol ha⁻¹), with five replicates totaling 27 treatments, the study being repeated at two different times. In the second study, the sensitivity of cucumber to the herbicides 2,4-D and dicamba alone and in a complementary mixture was tested. Subdoses of herbicides of 40%, 20%, 10%, 5%, 2.5% and 1.25% of the 1.5 L p.c. dose were applied. ha⁻¹ of 2,4-D and dicamba herbicides alone and in a complementary mixture, in a second experiment, new sub-doses were selected to study the effect of the complementarity of 2,4-D and dicamba herbicides alone and in a mixture, in order to demonstrate the synergy of the herbicides regarding the reduction of dry mass and greater sensitivity of the crop to a given herbicide, the following treatments were used: Control: 0; Treatment 1: 0.20 Mol ha⁻¹ 2,4-D + 0 Mol ha⁻¹ dicamba; Treatment 2: 0.15 Mol ha⁻¹ 2,4-D + 0.05 Mol ha⁻¹ dicamba; Treatment 3: 0.10 Mol ha⁻¹ 2,4-D + 0.10 Mol ha⁻¹ dicamba; Treatment 4: 0.05

Mol ha⁻¹ 2,4-D + 0.015 Mol ha⁻¹ dicamba; Treatment 5: 0 Mol ha⁻¹ 2,4-D + 0.20 Mol ha⁻¹ dicamba. Based on the behavior of the variable analyzed according to the doses and sensitivity of the species, in which the increase in the dose provided a gradual and effective reduction, the cucumber species proved to be more suitable for further studies. It can be concluded that there is a reduction in the accumulation of dry mass of cucumber plants when subjected to the application of dicamba and 2,4-D alone and in mixture, and that the increase in doses of the herbicides dicamba and 2,4-D alone and in mixture favor the increase of phytotoxicity and reduction of dry mass accumulation of cucumber plants. Using *Cucumis sativus* as an indicator plant, the herbicides 2,4-D and dicamba showed additive or synergistic effects in terms of intoxication and biomass reduction.

Keywords: auxinic herbicides; drift; sensitive crops; synergism; phytotoxicity.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	15
CAPÍTULO 1- ESCOLHA DA PLANTA BIOINDICADORA PARA OS HERBICIDAS 2,4-D E DICAMBA.....	17
1.1 INTRODUÇÃO.....	19
1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	21
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
1.4 CONCLUSÕES	38
REFERÊNCIAS.....	39
CAPÍTULO 2- SENSIBILIDADE DE PEPINO AOS HERBICIDAS 2,4-D E DICAMBA ISOLADOS E EM MISTURA COMPLEMENTAR.....	41
2.1 INTRODUÇÃO.....	43
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	45
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
2.4 CONCLUSÕES	69
REFERÊNCIAS.....	70
CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
REFERÊNCIAS.....	733

INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é destaque mundial na produção agrícola, gerando alimentos, fibra, energia e empregos com eficiência e segurança ambiental. O alto desenvolvimento desse setor no país, deve-se a investimentos voltados para a pesquisa aplicada e inovação. A adoção responsável de tecnologias que permitam aumentar a produtividade sem a necessidade de aumentar a área plantada, tais como uso de engenharia genética, biotecnologias e o manejo responsável de plantas daninhas, pragas e doenças, são fundamentais para o sucesso da produção.

Em um país tropical, em que chega a ter três safras de grão ao ano, o uso de produtos fitossanitários é menos oneroso e mais eficiente no controle de pragas, doenças e plantas daninhas e manutenção da produtividade. É preciso desmistificar que o Brasil é o maior consumidor de defensivos. Esse mito deve-se ao fato de levar em consideração o valor total desses produtos comercializados no mundo, mas quando se contabiliza o consumo de defensivos pela área utilizada, o Brasil ocupa a sétima posição, tendo à frente países como Japão, Coréia do Sul, Alemanha, França, Itália e Reino Unido (VELINI; CARBONARI, 2019).

A aplicação de produtos fitossanitários, quando necessária, deve ser feita tomando-se todos os cuidados necessários para que o ingrediente ativo atinja o alvo de forma eficaz e com o mínimo de contaminação de outras áreas (MATUO, 1990). A deriva de produtos, é um problema preocupante tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico. A deriva pode ser reduzida quando se aplica os preceitos da tecnologia de aplicação, tais como escolha correta da ponta de aplicação, cautela com o horário de aplicação e com a velocidade de aplicação, escolha do tamanho de gotas, volume de aplicação e ponta de pulverização mais adequados, uso de adjuvantes, instrução dos aplicadores, manutenção e calibração dos pulverizadores, uso de formulações menos voláteis são algumas medidas que devem ser seguidas.

Para o controle de plantas daninhas, existem no mercado culturas agrícolas que possibilitam a aplicação de herbicidas auxínicos em pós emergência da cultura. Um exemplo disso é a tecnologia Enlist®, que permite o uso de 2,4-D, glyphosate e amônio-glufosinate e a tecnologia Intacta2 Xtend®, que possui tolerância ao dicamba e ao glyphosate. Estes herbicidas são utilizados principalmente para controle de folhas largas e culturas comerciais apresentam alta sensibilidade, sendo assim as injúrias

que podem ser causadas por baixas doses de herbicidas auxínicos, é preocupante para produtores que não adotam essas tecnologias ou ainda, aqueles que possuem culturas sensíveis próximas aos produtores que adotam essas tecnologias. A eficiência das doses letais desses herbicidas é conhecida, mas o efeito de subdoses precisa ser mais explorado.

Para identificar ou quantificar o residual de herbicidas no solo ou nas águas, é comum usar plantas indicadoras que sejam de fácil cultivo, rápido desenvolvimento e alta sensibilidade aos herbicidas avaliados (NYFFLELER et al., 1982; SOUZA, 1999). Em um levantamento bibliográfico de trabalhos científicos publicados entre os anos de 1988 e 2020, Duque et al. (2020), constataram que as espécies *Cucumis sativus* e *Sorghum bicolor* são as espécies mais usadas como bioindicadoras e que os herbicidas atrazine e sulfentrazone são os mais relatados e que ainda há necessidade de realizar novas pesquisas para identificação de espécies sensíveis a novas moléculas.

Devido à susceptibilidade da maioria das plantas cultivadas aos herbicidas 2,4-D e dicamba, existe a possibilidade de que essas plantas sensíveis sejam inadvertidamente expostas a subdoses desses produtos. Essa exposição pode ocorrer devido à deriva durante a aplicação ou à contaminação nos equipamentos de pulverização. Com base nesse cenário, o propósito deste estudo foi selecionar uma planta bioindicadora apropriada para conduzir bioensaios utilizando diferentes doses dos herbicidas dicamba e 2,4-D após a emergência das espécies. A partir da planta bioindicadora escolhida, o objetivo foi avaliar se os herbicidas 2,4-D e dicamba têm efeitos fitotóxicos proporcionais quando testados individualmente e se demonstram sinergia em termos de toxicidade quando utilizados em combinação.

CAPÍTULO 1

ESCOLHA DA PLANTA BIOINDICADORA PARA OS HERBICIDAS 2,4-D E DICAMBA

RESUMO

As plantas indicadoras são organismos especialmente sensíveis a estímulos ambientais específicos e podem ser utilizadas para detectar a presença de herbicidas no ambiente. Esses testes representam uma abordagem alternativa para avaliar o potencial de risco de herbicidas em relação a plantas não alvo. Este experimento teve como propósito selecionar a espécie bioindicadora mais apropriada para conduzir bioensaios de curvas de dose-resposta utilizando os herbicidas 2,4-D (sal dimetil amina) e dicamba (sal DGA) após a emergência das plantas. Para a escolha da espécie bioindicadora, realizou-se um ensaio de curva de dose-resposta com plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum*), pepino (*Cucumis sativus*) e beterraba (*Beta vulgaris*) cultivadas em uma casa de vegetação. Foram aplicadas nove doses dos herbicidas 2,4-D e dicamba, sendo a dose mais elevada equivalente a 40% da dose recomendada nas instruções, e as demais doses correspondentes a 20%, 10%, 5%, 2,5%, 1,25%, 0,625%, 0,3125% e 0 da dose recomendada. As quantidades de herbicidas utilizadas foram as seguintes: 2,4-D (0; 0,014; 0,028; 0,057; 0,114; 0,2727; 0,455; 0,909 e 1,819 mol ha⁻¹) e dicamba (0; 0,010; 0,020; 0,041; 0,081; 0,163; 0,326; 0,651; 1,303 mol ha⁻¹). Registros fotográficos foram feitos aos 5, 10 e 15 dias após a aplicação (DAA), e aos 15 DAA, as plantas foram cortadas junto ao substrato, secas em estufa e pesadas para determinar a massa seca. Com base na análise do comportamento da massa seca em relação às doses e à sensibilidade da espécie, evidenciando uma redução gradual e efetiva com o aumento das doses, a espécie de pepino mostrou-se a mais apropriada para conduzir estudos posteriores com os herbicidas 2,4-D e dicamba.

Palavras-chave: bioensaio; planta bioindicadora; dose-resposta; herbicidas.

CHAPTER 1

CHOICE OF BIOINDICATOR PLANT FOR 2,4-D AND DICAMBA HERBICIDES

ABSTRACT

Indicator plants are organisms particularly sensitive to specific environmental stimuli and can be used to detect the presence of herbicides in the environment. These tests represent an alternative approach to assessing the risk potential of herbicides in relation to non-target plants. This experiment aimed to select the most appropriate bioindicator species to conduct bioassays of dose-response curves using the herbicides 2,4-D (dimethyl amine salt) and dicamba (DGA salt) after plant emergence. To choose the bioindicator species, a dose-response curve test was carried out with tomato (*Lycopersicon esculentum*), cucumber (*Cucumis sativus*) and beet (*Beta vulgaris*) plants grown in a greenhouse. Nine doses of 2,4-D and dicamba herbicides were applied, with the highest dose equivalent to 40% of the dose recommended in the instructions, and the remaining doses corresponding to 20%, 10%, 5%, 2.5%, 1.25%, 0.625%, 0.3125% and 0 of the recommended dose. The amounts of herbicides used were the following: 2,4-D (0; 0.014; 0.028; 0.057; 0.114; 0.2727; 0.455; 0.909 and 1.819 mol ha⁻¹) and dicamba (0; 0.010; 0.020; 0.041; 0.081; 0.163; 0.326; 0.651; 1.303 mol ha⁻¹). Photographic records were taken at 5, 10 and 15 days after application (DAA), and at 15 DAA, the plants were cut close to the substrate, dried in an oven, and weighed to determine the dry mass. Based on the analysis of the behavior of the dry mass in relation to the doses and the sensitivity of the species, showing a gradual and effective reduction with the increase in doses, the cucumber species proved to be the most appropriate to conduct further studies with herbicides 2, 4-D and dicamba.

Keywords: bioassay; bioindicator plant; dose-response; herbicides.

1.1 INTRODUÇÃO

O uso dos herbicidas auxínicos em pós emergência nas culturas agrícolas, é possível devido à tecnologia Enlist®, que permite o uso de 2,4-D, glyphosate e amônio-glufosinate e a tecnologia Intacta2 Xtend®, que possui tolerância ao dicamba e ao glyphosate. As auxinas sintéticas podem persistir por longos períodos na planta, podendo ser letais conforme a dose aplicada e a sensibilidade da cultura atingida. A concentração das auxinas naturais e seus efeitos são estritamente controlados, por outro lado, os herbicidas mimetizadores de auxinas, contornam os mecanismos regulatórios naturais das plantas suscetíveis e causam uma resposta descontrolada à auxina (MARCATO et al., 2017).

Quando aplicado em doses baixas, os herbicidas auxínicos tem propriedades semelhantes às auxinas naturais e em doses mais altas, causam anormalidades de crescimento em dicotiledôneas sensíveis, um dos sintomas mais clássicos é denominado de epinastia. As injúrias causadas pela deriva desses produtos são preocupantes para os produtores que não adotam a tecnologia com o gene de tolerância a esses herbicidas ou para os produtores que tem culturas sensíveis próximas à produtores que adotam essas tecnologias

Para identificar ou quantificar se há residual de herbicidas no solo ou nas águas, é comum usar plantas indicadoras que sejam de fácil cultivo, rápido desenvolvimento e alta sensibilidade aos herbicidas avaliados (NYFFLELER et al., 1982; Souza, 1999). Santos et al. (2013), estudaram qual seria a melhor planta indicadora entre tomate, pepino e beterraba (*Lycopersicon esculentum*, *Cucumis sativus* e *Beta vulgaris*, respectivamente) para residual de 2,4-D e picloram e observaram que a intoxicação visual mostrou-se a variável mais adequada para determinação de baixos níveis de resíduos de 2,4 D e picloram no solo. *B. vulgaris* foi a espécie com maior sensibilidade ao 2,4 D enquanto *L. esculentum* foi a espécie mais sensível ao picloram.

Os pesquisadores Aguiar et al., (2019), também com o intuito de identificar plantas sensíveis ao dicamba com residual no solo, observaram que os mais altos valores de intoxicação visual foram observados nas culturas do feijão e soja, já melancia, pepino, beterraba e tomate também se comportaram de forma sensível, no entanto, com valores de C50 mais altos. Concluindo que os sintomas visuais de intoxicação e a produção de massa seca destacam o feijão como a espécie mais indicada para a avaliação da presença de resíduos do herbicida dicamba no solo.

Outro estudo para selecionar plantas indicadoras da atividade residual dos herbicidas saflufenacil e flumioxazin no solo, Jonas et al., (2020), constataram que para o herbicida saflufenacil as espécies mais sensíveis foram a beterraba, o crambe e o pepino. Já para o flumioxazin, as espécies mais sensíveis foram a beterraba e o crambe. Os autores concluíram que dentre as espécies testadas, a beterraba pode ser indicada preferencialmente como bioindicadora de ambos os herbicidas pela facilidade de cultivo, crescimento rápido, sensibilidade em baixas doses e permite rápida visualização dos sintomas de intoxicação. As curvas dose-resposta são utilizadas para determinar parâmetros relacionados à dose do herbicida que reduz 50% da variável estudada na planta bioindicadora, conhecido como C50. A partir desses valores é possível prever a quantidade de resíduo no solo (CHRISTOFFOLETI, 2002; LACERDA et al., 2004).

Em um levantamento bibliográfico de trabalhos científicos publicados entre os anos de 1988 e 2020, Duque et al (2020) constataram que *Cucumis sativus* e *Sorghum bicolor* são as espécies mais usadas como bioindicadoras e que os herbicidas atrazine e sulfentrazone são os mais relatados, porém ainda há necessidade de realizar novas pesquisas para identificação de espécies sensíveis a novas moléculas.

Portanto, o objetivo com o experimento foi selecionar a espécie bioindicadora mais sensível ao efeito de subdoses dos herbicidas 2,4-D e dicamba aplicados em pós-emergência através de uma curva de dose-resposta, sob plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum*), pepino (*Cucumis sativus*) e beterraba (*Beta vulgaris*).

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os bioensaios foram conduzidos no laboratório do Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia (NUPAM) da Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Botucatu (22°84’S; 48°42’W Gr.).

Para a escolha da espécie bioindicadora a ser usada no experimento, foi conduzido um ensaio de curva de dose-resposta com plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*), beterraba (*Beta vulgaris*) e pepino (*Cucumis sativus*) aplicando sudoses do herbicidas 2,4-D e dicamba, sendo as marcas comerciais DMA 806 BR® e Atectra®, respectivamente.

As mudas de tomate e beterraba foram adquiridas em viveiro comercial e transplantadas em vasos plásticos de 350 mL. Os pepinos foram semeados em bandejas plásticas para mudas e foram transplantados para vasos de 350 mL. Os vasos plásticos com as mudas transplantadas foram preenchidos com o substrato Carolina II com as seguintes características físico/químicas: turfa de sphagnum, vermiculita expandida, casca de arroz torrefado, calcário dolomítico, gesso agrícola e traços de NPK; condutividade elétrica (CE) = 0,7 mS cm⁻¹ ± 0,3; pH 5,5; densidade 155 kg m⁻³; capacidade de retenção de água 55%.

Para a curva de dose-resposta, foi usado 40%, 20%, 10% 5%, 2,5%, 1,25%, 0,625%, 0,3125% e 0 da dose recomendada em bula dos herbicidas 2,4-D (DMA 806 BR® - sal dimetilamina - 670 g e.a. L⁻¹) e dicamba (Atectra® - sal diglicolamina – 480 g e.a. L⁻¹).

Optou-se por padronizar as doses dos herbicidas nos bioensaios em mol ha⁻¹. Para os bioensaios, é comum usar a dose dos produtos em mol ha⁻¹ porque permite padronizar a quantidade do produto químico aplicado de maneira mais precisa e consistente, independente das diferenças na concentração da formulação do produto ou na densidade da aplicação.

Foram aplicadas 9 doses do herbicida 2,4-D (0; 0,014; 0,028; 0,057; 0,114; 0,2727; 0,455, 0,909 e 1,819 mol ha⁻¹), em três espécies de plantas bioindicadoras, com cinco repetições cada, totalizando 27 tratamentos, em duas épocas. Os tratamentos para o herbicida 2,4-D estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1- Descrição das doses aplicadas do herbicida 2,4-D nas plantas de tomate, beterraba e pepino das épocas 1 e 2.

Trat	Herbicida	Dose Ativo (g e.a ha ⁻¹)	Dose comercial (L p.c ha ⁻¹)	Dose (mol ha ⁻¹)	Cultura
1	-	0	0	0,000	<i>Beta vulgaris</i> L.
2	2,4-D	3,1315	0,3125	0,014	<i>Beta vulgaris</i> L.
3	2,4-D	6,263	0,625	0,028	<i>Beta vulgaris</i> L.
4	2,4-D	12,5625	1,25	0,057	<i>Beta vulgaris</i> L.
5	2,4-D	25,125	2,5	0,114	<i>Beta vulgaris</i> L.
6	2,4-D	50,25	5	0,227	<i>Beta vulgaris</i> L.
7	2,4-D	100,5	10	0,455	<i>Beta vulgaris</i> L.
8	2,4-D	201	20	0,909	<i>Beta vulgaris</i> L.
9	2,4-D	402	40	1,819	<i>Beta vulgaris</i> L.
10	-	0	0	0,000	<i>Solanum lycopersicum</i> L.
11	2,4-D	3,1315	0,3125	0,014	<i>Solanum lycopersicum</i> L.
12	2,4-D	6,263	0,625	0,028	<i>Solanum lycopersicum</i> L.
13	2,4-D	12,5625	1,25	0,057	<i>Solanum lycopersicum</i> L.
14	2,4-D	25,125	2,5	0,114	<i>Solanum lycopersicum</i> L.
15	2,4-D	50,25	5	0,227	<i>Solanum lycopersicum</i> L.
16	2,4-D	100,5	10	0,455	<i>Solanum lycopersicum</i> L.
17	2,4-D	201	20	0,909	<i>Solanum lycopersicum</i> L.
18	2,4-D	402	40	1,819	<i>Solanum lycopersicum</i> L.
19	-	0	0	0,000	<i>Cucumis sativus</i> L.
20	2,4-D	3,1315	0,3125	0,014	<i>Cucumis sativus</i> L.
21	2,4-D	6,263	0,625	0,028	<i>Cucumis sativus</i> L.
22	2,4-D	12,5625	1,25	0,057	<i>Cucumis sativus</i> L.
23	2,4-D	25,125	2,5	0,114	<i>Cucumis sativus</i> L.
24	2,4-D	50,25	5	0,227	<i>Cucumis sativus</i> L.
25	2,4-D	100,5	10	0,455	<i>Cucumis sativus</i> L.
26	2,4-D	201	20	0,909	<i>Cucumis sativus</i> L.
27	2,4-D	402	40	1,819	<i>Cucumis sativus</i> L.

Foram aplicadas subdoses dos herbicidas em 9 doses do herbicida dicamba (0; 0,010; 0,020; 0,041; 0,081; 0,163; 0,326; 0,651; 1,303 mol ha⁻¹), em três espécies de plantas bioindicadoras, com cinco repetições cada, totalizando 27 tratamentos, em duas épocas. Os tratamentos para o herbicida dicamba estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2- Descrição das doses aplicadas do herbicida dicamba nas plantas de tomate, beterraba e pepino, das épocas 1 e 2.

Trat	Herbicida	Dose Ativo (g e.a ha ⁻¹)	Dose comercial (L p.c ha ⁻¹)	Dose (mol ha ⁻¹)	Cultura
1	-	0	0	0,000	<i>Beta vulgaris</i> L.
2	Dicamba	2,25	0,3125	0,010	<i>Beta vulgaris</i> L.
3	Dicamba	4,5	0,625	0,020	<i>Beta vulgaris</i> L.
4	Dicamba	9	1,25	0,041	<i>Beta vulgaris</i> L.
5	Dicamba	18	2,5	0,081	<i>Beta vulgaris</i> L.
6	Dicamba	36	5	0,163	<i>Beta vulgaris</i> L.
7	Dicamba	72	10	0,326	<i>Beta vulgaris</i> L.
8	Dicamba	144	20	0,651	<i>Beta vulgaris</i> L.
9	Dicamba	288	40	1,303	<i>Beta vulgaris</i> L.
10	-	0	0	0,000	<i>Solanum lycopersicum</i> L.
11	Dicamba	2,25	0,3125	0,010	<i>Solanum lycopersicum</i> L.
12	Dicamba	4,5	0,625	0,020	<i>Solanum lycopersicum</i> L.
13	Dicamba	9	1,25	0,041	<i>Solanum lycopersicum</i> L.
14	Dicamba	18	2,5	0,081	<i>Solanum lycopersicum</i> L.
15	Dicamba	36	5	0,163	<i>Solanum lycopersicum</i> L.
16	Dicamba	72	10	0,326	<i>Solanum lycopersicum</i> L.
17	Dicamba	144	20	0,651	<i>Solanum lycopersicum</i> L.
18	Dicamba	288	40	1,303	<i>Solanum lycopersicum</i> L.
19	-	0	0	0,000	<i>Cucumis sativus</i> L.
20	Dicamba	2,25	0,3125	0,010	<i>Cucumis sativus</i> L.
21	Dicamba	4,5	0,625	0,020	<i>Cucumis sativus</i> L.
22	Dicamba	9	1,25	0,041	<i>Cucumis sativus</i> L.
23	Dicamba	18	2,5	0,081	<i>Cucumis sativus</i> L.
24	Dicamba	36	5	0,163	<i>Cucumis sativus</i> L.
25	Dicamba	72	10	0,326	<i>Cucumis sativus</i> L.
26	Dicamba	144	20	0,651	<i>Cucumis sativus</i> L.
27	Dicamba	288	40	1,303	<i>Cucumis sativus</i> L.

Para as aplicações foi utilizado um sistema de pulverização com controle da velocidade e pressão de trabalho, constituído por barra de pulverização com quatro pontas de jato plano TeeJet XR 110 02 VS, espaçadas em 0,5 m e posicionadas a 0,5 m de altura em relação às plantas. O sistema foi operado com velocidade de deslocamento de 3,6 km h⁻¹, com volume de calda de 200 L ha⁻¹ e pressão constante de 150 kPa, pressurizado por ar comprimido.

As plantas foram posicionadas para a aplicação alternando as espécies (planta de beterraba, planta de pepino e planta de tomate), posicionadas de modo que não houvesse sobreposição das espécies e que todas as plantas ficassem expostas de maneira semelhante à aplicação.

Figura 1- Simulador de pulverização usado para aplicação dos tratamentos.



Aos 5, 10 e 15 dias após a aplicação (DAA) foram realizadas avaliações visuais, com registro fotográfico nos três períodos. Ao final do experimento (15 DAA) as plantas foram coletadas, sendo cortadas rente ao substrato de cultivo, para determinação da massa seca da parte aérea.

Para aumentar a estabilidade das médias, os experimentos foram repetidos no tempo para que se tivesse números elevados de repetições de cada tratamento. Considerando a dificuldade de manter a estabilidade das condições de crescimento e de avaliação em experimentos muito grandes, experimentos com números menores de repetições foram repetidos no tempo. O objetivo da repetição dos experimentos foi exclusivamente aumentar a consistência das médias. Para os objetivos da pesquisa, cada época de avaliação poderia ser tratada como um bloco experimental com várias repetições em cada um. Por isso a análise estatística foi feita considerando apenas os efeitos dos tratamentos e de épocas, tratadas de modo similar a blocos experimentais.

Os dados de matéria seca obtidos no estudo de dose-resposta, foram convertidos em porcentagem de massa seca em relação à testemunha (% de MS testemunha⁻¹), ajustando modelo logístico de quatro parâmetros conforme a equação 1:

$$y = y_0 + \frac{a}{1 + \left(\frac{x}{x_0}\right)^b}$$

Equação 1

Onde “y0” é o valor máximo de massa seca, “a” é a diferença entre os valores máximos e mínimos de massa seca, “x0” coordenada x ou dose do ponto de inflexão, e “b” é a inclinação da curva no ponto de inflexão.

Os dados também foram correlacionados através de linhas de equivalência onde a tendência de redução de massa seca é favorável a determinada espécie, demonstrados através de gráficos gerados programa SYSTAT version 12.5.

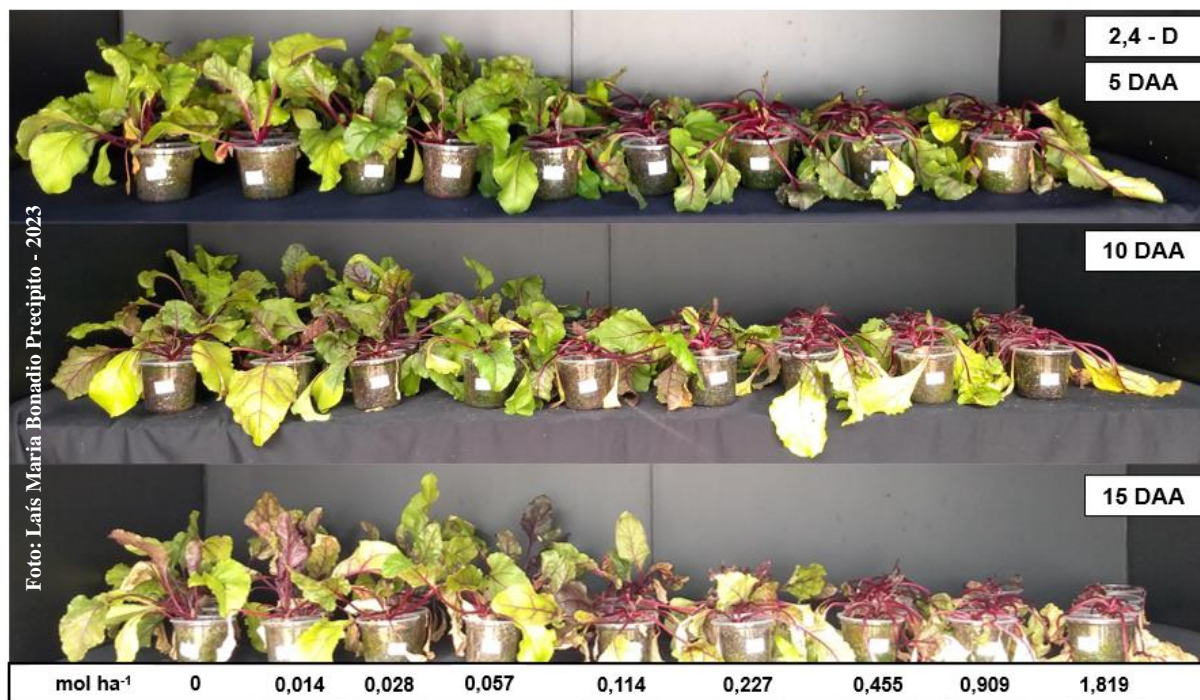
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises visuais de intoxicação das espécies bioindicadoras aos 5, 10 e 15 DAA do herbicida 2,4-D estão nas Figuras 4, 5 e 6. Em todas as imagens é possível perceber que o aumento dos sintomas de fitointoxicação é proporcional ao aumento da dose (mol ha^{-1}) do herbicida 2,4-D.

Os principais efeitos observados nas três espécies bioindicadoras foram compatíveis àqueles normalmente associados aos herbicidas pertencentes ao grupo dos mimetizadores das auxinas, tais como: epinastia nas folhas; tumores no sistema intercalar; formação, multiplicação e engrossamento das raízes; hipertrofia de raízes laterais; encarquilhamento e encurvamento das folhas; anormalidade no crescimento e; danos nos cloroplastos, causando clorose e destruição das membranas e do sistema vascular, amarelecimento e necrose de folhas (COBB, 1992; GROSSMANN, 2000).

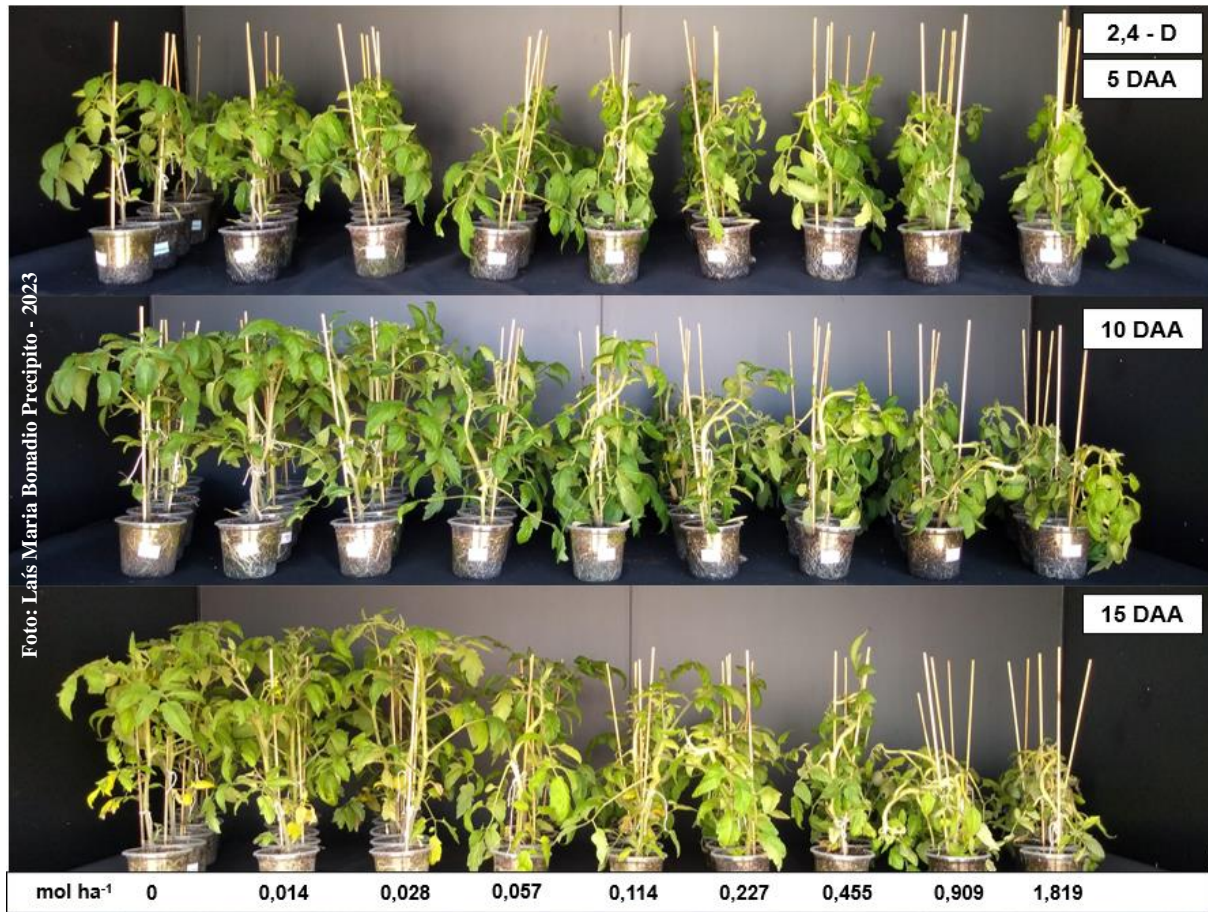
Na Figura 2, as plantas de beterraba apresentavam epinastia nos caules as folhas encurvaram-se para baixo, e apresentavam-se sensível ao manuseio durante as avaliações, pelo fato de ficarem quebradiças.

Figura 2- Avaliação visual da intoxicação das plantas de beterraba ao herbicida 2,4-D aos 5, 10 e 15 dias após a aplicação (DAA).



Os sintomas típicos observados nas plantas de tomate foram epinastia, encarquilhamento, curvatura das folhas para baixo e até necrose da planta de tomate (Figura 3).

Figura 3- Avaliação visual da intoxicação das plantas de tomate ao herbicida 2,4-D aos 5, 10 e 15 dias após a aplicação (DAA).



Observa-se na Figura 4, a avaliação visual da intoxicação das plantas de pepino ao herbicida 2,4-D aos 5, 10 e 15 dias após a aplicação. Nota-se que as plantas de pepino, também apresentaram epinastia, encarquilhamento e curvatura das folhas para baixo.

Figura 4- Avaliação visual da intoxicação das plantas de pepino ao herbicida 2,4-D aos 5, 10 e 15 dias após a aplicação (DAA).



Nas Figuras 5, 6 e 7 estão representadas as avaliações visuais em plantas de beterraba., tomate e pepino, respectivamente, após a aplicação do herbicida dicamba. Em todas as avaliações foi possível perceber maior fitointoxicação conforme aumento da dose aplicada (mol ha⁻¹).

Os sintomas de fitointoxicação das plantas tratadas com dicamba observados foram semelhantes aos descritos anteriormente para as espécies bioindicadoras com o herbicida 2,4-D, porém a evolução dos sintomas ocorrendo de maneira mais rápida e com severidade em relação ao 2,4-D. Resultados semelhantes foram encontrados em estudo de dose-resposta, SILVA et al. (2018) relatam que danos da soja à exposição ao dicamba mais que dobraram em comparação com o 2,4-D, variando de 35 a 87%, enquanto os danos ao 2,4-D variaram de 0 a 31% em ambos os estágios de crescimento e taxa de herbicida estudadas.

Figura 5- Avaliação visual da intoxicação das plantas de beterraba ao herbicida dicamba aos 5, 10 e 15 dias após a aplicação (DAA).

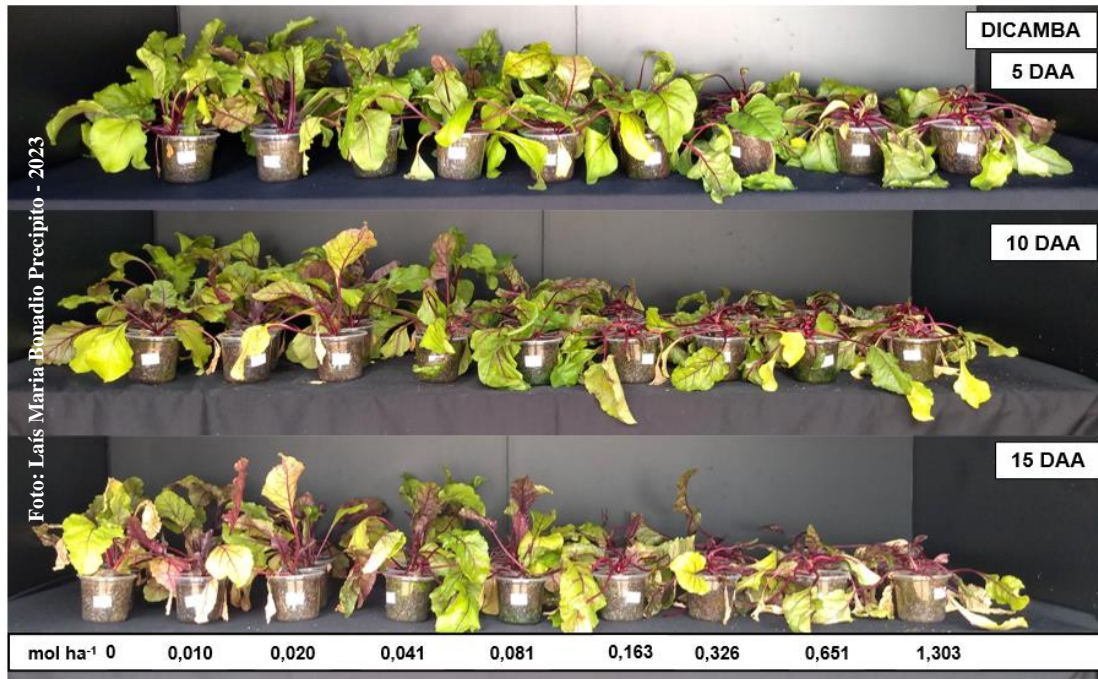


Figura 6- Avaliação visual da intoxicação das plantas de tomate ao herbicida dicamba aos 5, 10 e 15 dias após a aplicação (DAA).

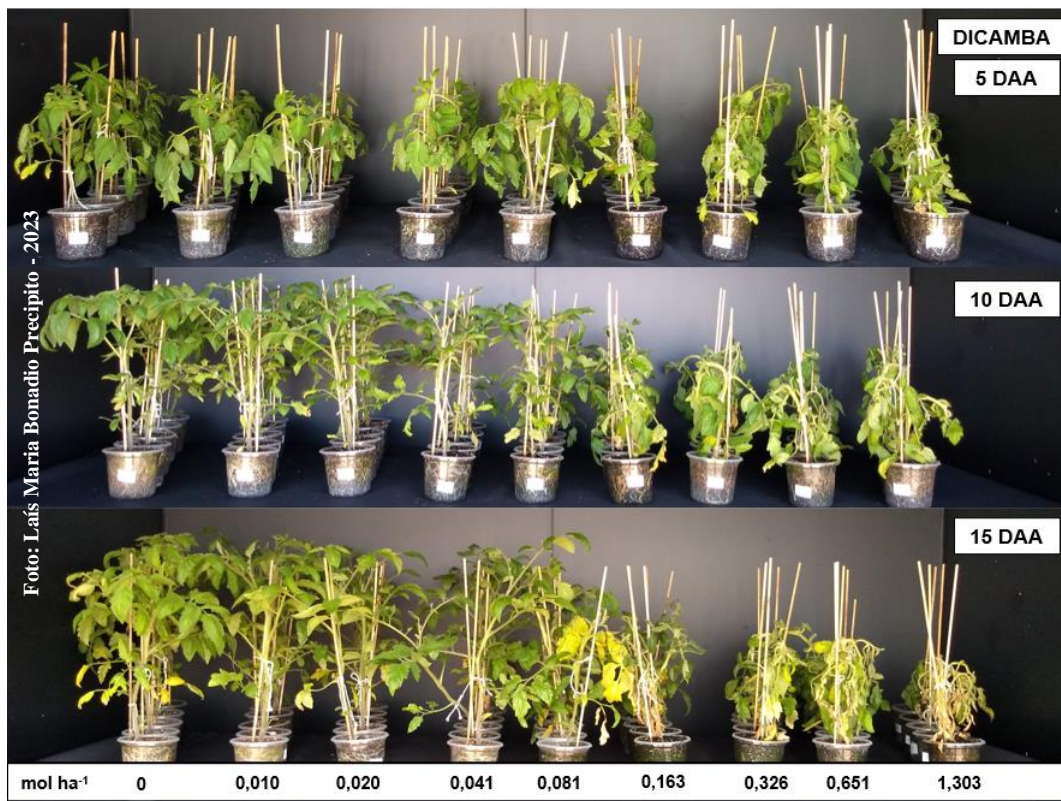
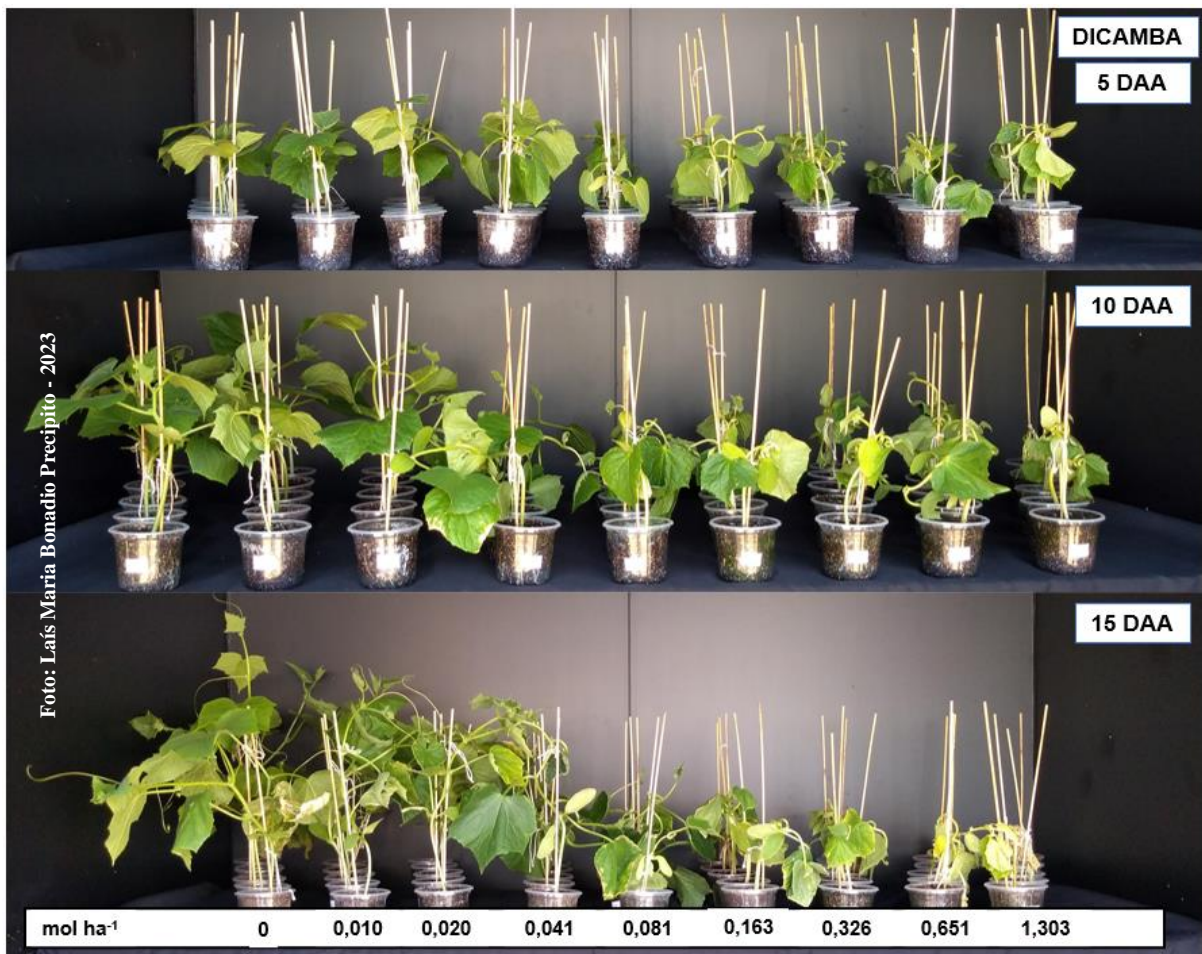


Figura 7- Avaliação visual da intoxicação das plantas de pepino ao herbicida dicamba aos 5, 10 e 15 dias após a aplicação (DAA).



Foi observado que mais de 65% das variações da matéria seca em função da dose é explicada pelo modelo logístico de 4 parâmetros. No caso do pepino, mais 70% e 95% dos dados referente ao 2,4-D e dicamba apresentaram ajuste ao modelo. Na tabela 3, está representado o ajuste dos dados de massa seca (%) ao modelo logístico de quatro parâmetros das espécies bioindicadoras beterraba, tomate e pepino submetidos a aplicação de doses de 2,4-D (A) e dicamba (B)

Tabela 3- Ajuste dos dados médios de massa seca (%) das épocas 1 e 2 ao modelo logístico de quatro parâmetros das espécies bioindicadoras beterraba, tomate e pepino submetidas a aplicação de doses de 2,4-D (A) e dicamba (B).

Herbicida	Espécie	Parâmetros						
		a	b	x0	y0	F	R ² aj	p-valor
2,4-D	Beterraba	30,8177	0,4736	-0,3283	69,3694	6,1891	0,6605	0,0389
	Tomate	56,0784	1,0623	0,2306	51,3047	12,1083	0,8064	0,0099
	Pepino	4482,4120	0,3496	263082,4148	- 4379,3254	7,9632	0,7231	0,0238
Dicamba	Beterraba	13,4031	4928,2442	0,0147	88,3829	6,1819	0,6602	0,0390
	Tomate	66,9582	0,6647	0,0386	33,8110	17,8528	0,8634	0,0042
	Pepino	98,4084	0,6986	0,0331	1,4040	52,1893	0,9505	0,0003

As plantas de beterraba não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 3) e observa-se também que, quando submetida ao dicamba apresentou redução de massa constante a partir de cerca de 0,2 Mol ha⁻¹. As doses neste caso, não foram adequadas para estimar precisamente a sensibilidade da espécie. Para a cultura da beterraba em diferentes estádios de desenvolvimento, doses reduzidas dos herbicidas dicamba, 2,4-D e picloram provocaram intoxicação, que resultou em redução na produtividade e na qualidade do produto colhido (SCHROEDER et al., 1983).

Tabela 4- Anova dos experimentos 1 e 2 das espécies bioindicadoras beterraba, tomate e pepino submetidos a aplicação de doses de 2,4-D e dicamba.

Herbicida	Espécie	Parâmetros				
		Fc	Pr>Fc		CV (%)	p-valor
2,4-D	Beterraba	1,1190	0,4315	ns	11,6300	0,5176
	Tomate	9,8218	0,0012	**	10,7700	0,5440
	Pepino	12,6890	0,0005	**	13,5100	0,5795
Dicamba	Beterraba	0,8459	0,5880	ns	11,2100	0,3896
	Tomate	10,0230	0,0011	**	15,0100	0,2314
	Pepino	65,1210	0,0000	**	12,9000	0,8047

Nas Figuras 8 e 9, foi possível observar a dose onde a massa seca é reduzida em 50%, sendo que tais doses encontram-se próximo a 0,8 Mol ha⁻¹ de 2,4-D para plantas de pepino e 0,2 Mol ha⁻¹ de dicamba para plantas de tomate, próximo a 0,03

Mol ha⁻¹ de dicamba para plantas de pepino. O tomate, apresentou novamente comportamento intermediário entre a redução de massa das demais espécies, enquanto as doses aplicadas ao pepino permitiram estimativas mais precisas quanto a sensibilidade. Uma vez que, é visível a resposta em redução de massa seca da espécie a medida que se aumentavam a dose do herbicida.

Santos et al., (2013), relatam que há uma grande dificuldade em função da variação na resposta em crescimento apresentada pela espécie indicadora para os herbicidas hormonais. Os autores conduziram estudos com objetivo de determinar espécies e variáveis sensíveis aos herbicidas 2,4-D e picloram para indicação de residual no solo. As espécies analisadas no referido estudo, também foram tomate, pepino e beterraba. Para a beterraba, é relatado que doses 102,58 e 3,55 g i.a, ha⁻¹ de 2,4-D, em solo e areia, respectivamente, foram suficientes para reduzir em 50% a altura das plantas, para o pepino a dose de 23,25 g ha⁻¹ foi suficiente para inibir em 50% o acúmulo de massa da matéria seca total, demonstrando ser, dentre as espécies estudadas, aquela com maior sensibilidade a baixas concentrações deste herbicida, o tomate foi a espécie mais sensível, sendo que a dose de 14,05 g i.a. ha⁻¹ foi suficiente para a redução de 50% do acúmulo de matéria seca total.

Figura 8- Ajuste dos dados médios de massa seca (%) das épocas 1 e 2 ao modelo logístico de quatro parâmetros das espécies bioindicadoras beterraba, tomate e pepino submetidas a aplicação de doses de 2,4-D.

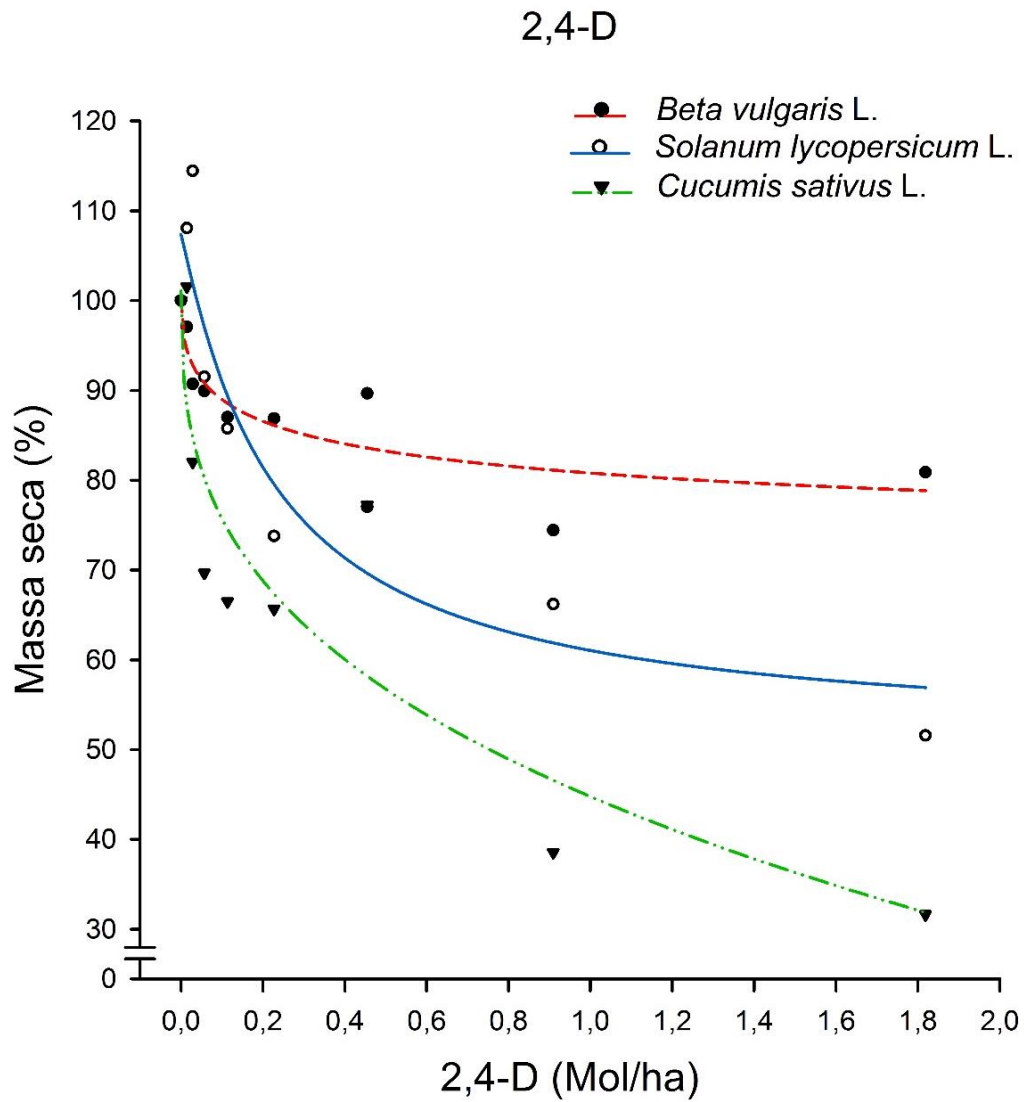
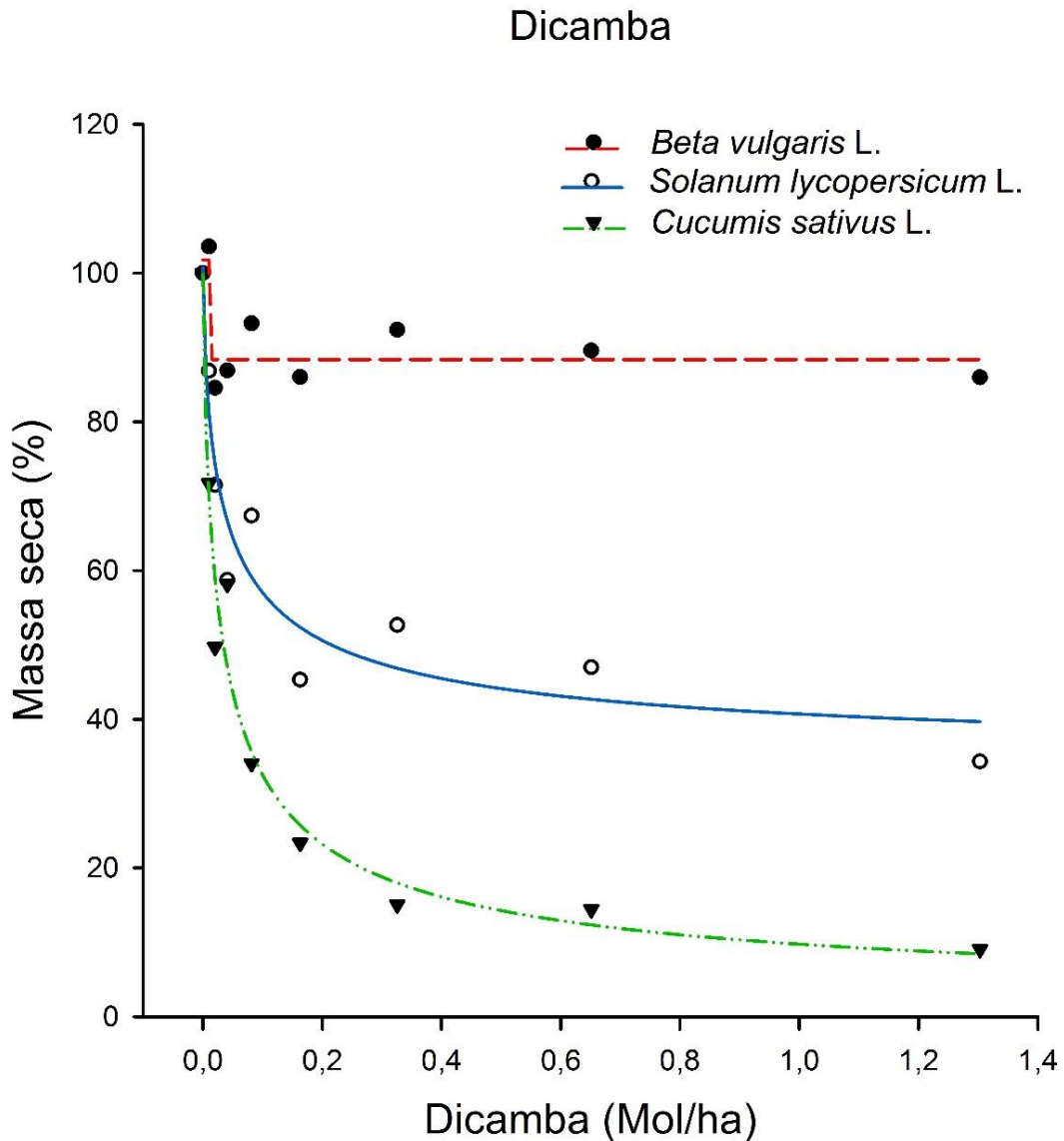


Figura 9- Ajuste dos dados médios de massa seca (%) das épocas 1 e 2 ao modelo logístico de quatro parâmetros das espécies bioindicadoras beterraba, tomate e pepino submetidas a aplicação de doses de dicamba.



Todas as espécies estudadas apresentaram maior sensibilidade ao dicamba comparado ao 2,4-D. A beterraba e pepino apresentaram respectivamente menor e maior perda de massa em relação a testemunha quando submetida ao 2,4-D. No caso do tomate, o comportamento de redução de massa seca apresentou-se em posição intermediária entre as demais espécies.

Na Figura 10 e Figura 11 estão representadas a sensibilidade das espécies de beterraba e tomate em função da sensibilidade de pepino dados em porcentagem de redução da massa seca em relação a testemunha. Os resultados reiteram que para

ambos os herbicidas a sensibilidade de pepino é maior em relação a sensibilidade das plantas de beterraba ou tomate. No entanto, o herbicida dicamba apresenta maior capacidade em ocasionar injúrias as todas as espécies bioindicadoras testadas, principalmente a planta de pepino.

Figura 10- Equivalência de sensibilidade entre as espécies de beterraba, tomate e pepino submetidas a aplicação de 2,4-D e das épocas 1 e 2.

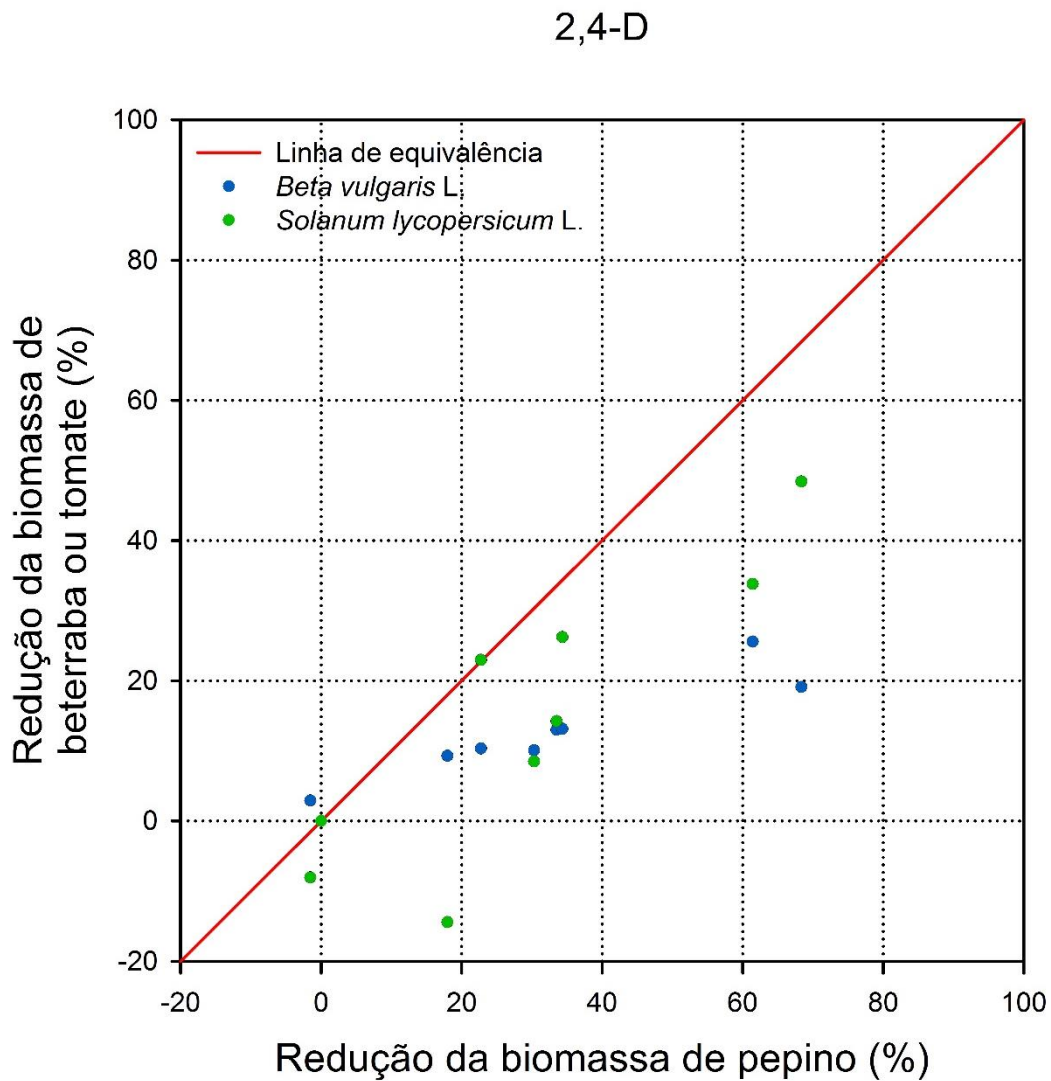
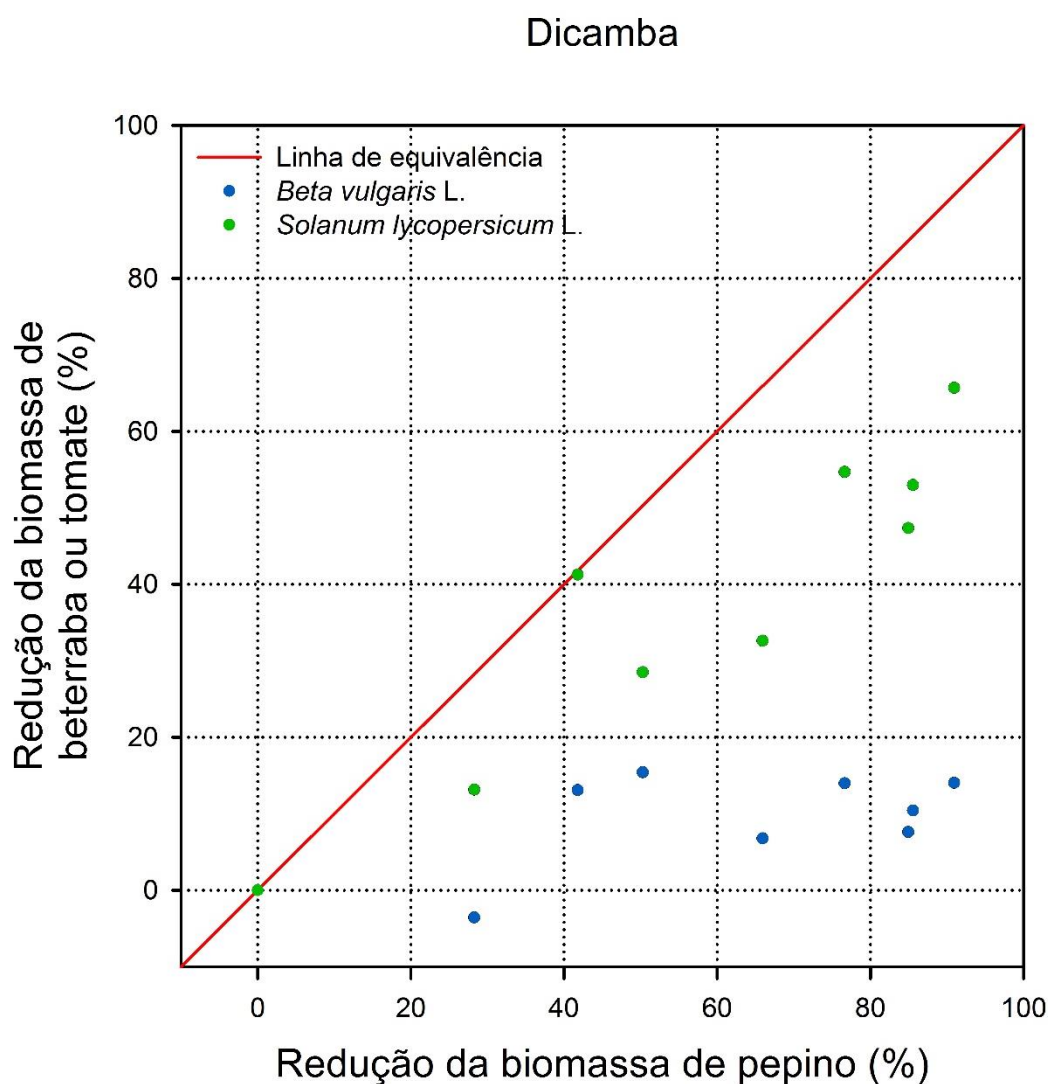


Figura 11- Equivalência de sensibilidade entre as espécies de beterraba, tomate e pepino submetidas a aplicação de dicamba e das épocas 1 e 2.



É importante notar a escassez de informações na literatura acerca das espécies mais adequadas como bioindicadoras para testes envolvendo a aplicação pós-emergência dos herbicidas 2,4-D e dicamba nas culturas. Uma análise bibliográfica realizada por Duque et al. (2020) revela que a maioria dos estudos científicos, incluindo artigos, teses e dissertações, publicados entre 1988 e 2020, focam na avaliação dos resíduos desses herbicidas no solo. Vale ressaltar também que as espécies utilizadas como bioindicadoras podem reagir de maneiras distintas às doses aplicadas, variando conforme o tipo de herbicida usado e a forma como é aplicado. Como é o caso de bioensaios para verificação de residual no solo ou pós emergente, ou em ensaios de simulação de deriva.

1.4 CONCLUSÕES

Com base na análise das respostas da variável em estudo em relação às diferentes concentrações administradas e à sensibilidade inerente às espécies avaliadas, observou-se um padrão de decréscimo gradual e significativo à medida que as doses de aplicação foram incrementadas. Nesse contexto, a espécie conhecida como pepino (*Cucumis sativus*) revelou-se altamente promissora como organismo indicador nos ensaios envolvendo os herbicidas dicamba (sal DGA) e 2,4-D (sal dimetil amina), dentro das especificidades das condições experimentais empregadas.

Essa seleção é sustentada pela manifestação de uma sensibilidade adequada e moderada a ambos os herbicidas por parte da espécie *Cucumis sativus*, bem como pela sua notável capacidade de cultivo e crescimento facilitado. Além disso, destaca-se a sua adaptação sólida às exigências das investigações conduzidas em ambiente controlado de casa de vegetação.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, Adalin Cezar Moraes et al. Seleção de espécies indicadoras de resíduos de dicamba no solo. **Agrarian**, v. 13, n. 48, p. 187-194, 2020.
- CHRISTOFFOLETI, Pedro Jacob. Rate-response curves of resistant and susceptible *bidens pilosa* L. Biotypes to ALS-inhibitor herbicides. **Scientia Agricola**, v. 59, p. 513-519, 2002.
- COBB, A.; READE, J. P. H. Auxin-Type Herbicides. In: COBB, A.H.; READE, J. P. H. (ed). **Herbicides and plant physiology**. Londres: Chapman e Hall, p. 82-106, 1992.
- DE CASTRO MARCATO, Ana Claudia; DE SOUZA, Cleiton Pereira; FONTANETTI, Carmem Silvia. Herbicide 2, 4-D: a review of toxicity on non-target organisms. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 228, p. 1-12, 2017.
- DUQUE, Tayna Sousa et al. Uso de bioindicadoras vegetais para identificação de resíduos de herbicidas no solo. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. e999998123-e999998123, 2020.
- GROSSMANN, K. Induction of abscisic acid is a common effect of auxin herbicides in susceptible plants. **Journal of Plant Physiology**. v. 149, n. 1, p. 475-8, 2000.
- Lacerda, A. L. D. S., & Victoria Filho, R. (2004). Curvas dose-resposta em espécies de plantas daninhas com o uso do herbicida glyphosate (1). *Bragantia*, 63(1), 73-79.
- NYFFELER, A. et al. Collaborative studies of dose-response curves obtained with different bioassay methods for soil-applied herbicides. **Weed Research**, v. 22, n. 4, p. 213-222, 1982.
- SANTOS, Daiana Pereira dos et al. Determinação de espécies bioindicadoras de resíduos de herbicidas auxínicos. **Revista Ceres**, v. 60, p. 354-362, 2013.
- SANTOS, Daiana Pereira dos et al. Determinação de espécies bioindicadoras de resíduos de herbicidas auxínicos. **Revista Ceres**, v. 60, p. 354-362, 2013.
- SCHROEDER, Galen L.; COLE, Darrell F.; DEXTER, Alan G. Sugarbeet (*Beta vulgaris* L.) response to simulated herbicide spray drift. **Weed Science**, v. 31, n. 6, p. 831-836, 1983.
- SILVA, Diekson Ruy Orsolin da et al. Drift of 2, 4-D and dicamba applied to soybean at vegetative and reproductive growth stage. **Ciência Rural**, v. 48, 2018.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS. Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas. Londrina: SBCPD, 1995.

SOUZA, Adailson P. de et al. Lixiviação do glyphosate e do imazapyr em solos com diferentes texturas e composição química: II. método analítico. **Planta Daninha**, v. 17, p. 245-262, 1999.

SYSTAT SOFTWARE INC. SigmaPlot versão 12.5. San Jose, California, 2013.

CAPÍTULO 2

SENSIBILIDADE DE PEPINO AOS HERBICIDAS 2,4-D E DICAMBA ISOLADOS E EM MISTURA COMPLEMENTAR

RESUMO

Os herbicidas auxínicos são usados no controle de espécies de eudicotiledôneas em diversas culturas e, mesmo estando há mais de 70 anos no mercado, é muito eficiente no controle das plantas daninhas e poucos relatos de resistência tem ocorrido em comparação aos demais herbicidas. O fato de ter baixa evolução nos casos de plantas daninhas resistentes, somado à falta de novos mecanismos de ação, a indústria desenvolveu cultivares tolerantes a aplicação dos herbicidas auxínicos em pós emergência da cultura. Dentre as culturas sensíveis aos herbicidas mimetizadores da auxina estão as olerícolas, onde se destacam no âmbito econômico e social pois demandam elevada mão de obra durante todo o ciclo. Em vista da disponibilidade de tecnologias tolerante ao herbicida 2,4-D e outra ao dicamba, as plantas sensíveis podem ficar expostas à subdoses desses herbicidas isolados ou de ambos. O objetivo do presente trabalho é estudar o efeito de subdoses de 2,4-D e dicamba isolados e em mistura complementar na cultura do pepino; avaliar respostas diferenciais de sensibilidade entre os herbicidas pertencentes ao mesmo mecanismo de ação e avaliar se tais efeitos são aditivos ou antagônicos. No primeiro experimento, foram aplicadas, subdoses dos herbicidas em 40%, 20%, 10%, 5%, 2,5% e 1,25% da dose de 1,5 L p.c. ha⁻¹ dos herbicidas 2,4-D e dicamba isolados e em mistura complementar. A partir do experimento 1 foram selecionadas novas subdoses para estudo do efeito da complementaridade dos herbicidas 2,4-D e dicamba isolados e em mistura. A fim de demonstrar a sinergia dos herbicidas quanto a redução de massa seca e maior sensibilidade da cultura a um determinado herbicida, foi utilizado os tratamentos: Testemunha: 0; Tratamento 1: 0,20 Mol ha⁻¹ 2,4-D + 0 Mol ha⁻¹ dicamba; Tratamento 2: 0,15 Mol ha⁻¹ 2,4-D + 0,05 Mol ha⁻¹ dicamba; Tratamento 3: 0,10 Mol ha⁻¹ 2,4-D + 0,10 Mol ha⁻¹ dicamba; Tratamento 4: 0,05 Mol ha⁻¹ 2,4-D + 0,015 Mol ha⁻¹ dicamba; Tratamento 5: 0 Mol Mol ha⁻¹ 2,4-D + 0,20 Mol ha⁻¹ dicamba. Houve redução no acúmulo de massa seca de plantas de pepinos quando submetidos a aplicação de dicamba e 2,4-D isolados e em mistura. O aumento das doses dos herbicidas dicamba e 2,4-D isolados e em mistura favorece o aumento da fitotoxicidade e redução do acúmulo de massa seca de plantas de pepino. Utilizando pepino como planta indicadora, os herbicidas 2,4-D e dicamba apresentaram efeitos aditivos ou sinérgicos em termos de intoxicação e redução da biomassa. A dose referente a 5% de deriva simulada ou cerca de 0,163 e 0,227 Mol ha⁻¹ de dicamba e 2,4-D, respectivamente, ocasionam cerca de 50% de redução de massa seca de plantas de pepino.

Palavras-chave: herbicidas auxínicos; pepino; deriva; subdoses de herbicidas.

CHAPTER 2

SENSITIVITY OF CUCUMBER TO 2,4-D AND DICAMBA HERBICIDES APPLIED ISOLATED AND IN ADDITIONAL MIXTURE

ABSTRACT

Auxinic herbicides are used to control eudicotyledonous species in several crops and, even though they have been on the market for over 70 years, they are very efficient in controlling weeds and few reports of resistance have occurred compared to other herbicides. The fact of having low evolution in cases of resistant weeds, added to the lack of new mechanisms of action, the industry has developed cultivars tolerant to the application of auxinic herbicides in post emergence of the crop. Among the crops sensitive to auxin-mimicking herbicides are the vegetable crops, where they stand out in the economic and social scope because they demand high labor throughout the cycle. The sensitivity of cucumber to other herbicides has already been considered in bioassays. In view of the availability of technologies tolerant to the herbicide 2,4-D and one to dicamba, sensitive plants may be exposed to underdoses of these herbicides alone or both. Thus, the objective of this work is to study the effect of underdoses of 2,4-D and dicamba alone and in a complementary mixture in the cucumber crop; evaluate differential sensitivity responses between herbicides belonging to the same mechanism of action and assess whether such effects are additive or antagonistic. In the first experiment, subdoses of herbicides were applied at 40%, 20%, 10%, 5%, 2.5% and 1.25% of the dose of 1.5 L p.c. ha⁻¹ of 2,4-D and dicamba herbicides alone and in complementary mixture. From experiment 1, new sub-doses were selected to study the effect of the complementarity of the herbicides 2,4-D and dicamba alone and in mixture. In order to demonstrate the synergy of the herbicides regarding the reduction of dry mass and greater sensitivity of the crop to a given herbicide, the following treatments were used: Control: 0; Treatment 1: 0.20 Mole ha⁻¹ 2,4-D + 0 Mole ha⁻¹ dicamba; Treatment 2: 0.15 Mole ha⁻¹ 2,4-D + 0.05 Mole ha⁻¹ dicamba; Treatment 3: 0.10 Mole ha⁻¹ 2,4-D + 0.10 Mole ha⁻¹ dicamba; Treatment 4: 0.05 Mole ha⁻¹ 2,4-D + 0.015 Mole ha⁻¹ dicamba; Treatment 5: 0 Mol Mol ha⁻¹ 2,4-D + 0.20 Mol ha⁻¹ dicamba. There is a reduction in the dry mass accumulation of cucumber plants when submitted to the application of dicamba and 2,4-D alone and in mixture. The increase in doses of dicamba and 2,4-D herbicides alone and in mixture favors the increase of phytotoxicity and reduction of dry mass accumulation of cucumber plants. Using cucumber as a sensitive crop, the herbicides 2,4-D and dicamba showed additive or synergistic effects regarding to intoxication and biomass reduction. The dose referring to 5% of simulated drift or about 0.163 and 0.227 Mol ha⁻¹ of dicamba and 2,4-D, respectively, cause about 50% reduction in dry mass of cucumber plants.

Keywords: auxinic herbicides; cucumber; drift; under doses of herbicides.

2.1 INTRODUÇÃO

Os herbicidas pertencentes ao grupo 4 (WSSA, 2021) possuem como mecanismo de ação a mimetização de auxinas, também são conhecidos por reguladores de crescimento, auxinas sintéticas ou herbicidas hormonais, em função da similaridade estrutural e funcional com a auxina natural das plantas. Este grupo tem grande importância histórica, uma vez que o 2,4-D foi o primeiro composto orgânico sintetizado pela indústria utilizado como herbicida seletivo (SENSEMAN, 2007).

São usados no controle de espécies de eudicotiledôneas em diversas culturas e, mesmo estando há mais de 70 anos no mercado, são muito eficientes no controle das plantas daninhas e havendo poucos relatos de resistência em comparação aos demais herbicidas. A baixa evolução nos casos de plantas daninhas resistentes, somada à falta de novos mecanismos de ação, a indústria desenvolveu cultivares tolerantes a aplicação dos herbicidas auxínicos em pós emergência da cultura.

Um dos principais desafios no uso desses herbicidas são os frequentes relatos de fitointoxicação em culturas não alvo devido a problemas com deriva, volatilização e contaminação de tanques de pulverizadores, já que a maioria das culturas não tolerantes são extremamente sensíveis a herbicidas auxínicos (JONES et al., 2018; BUOL et al., 2019)

O risco de qualquer tipo de deriva que possa ocorrer com o 2,4-D e o dicamba está muito associada ao tipo de formulação do produto, técnicas e tecnologia de aplicação empregadas e às condições climáticas no momento da aplicação. No estado do Rio Grande do Sul, por exemplo, há procedimentos compulsórios para aplicação dos herbicidas auxínicos. Tais como, certificação e validação de aplicadores no cadastro estadual de aplicadores de agrotóxicos e curso de Boas Práticas na Aplicação de agrotóxicos.

Ao adquirir os herbicidas auxínicos, o produtor é informado dos riscos envolvidos e os critérios para mitigação de efeitos adversos, tais como: velocidade do vento menor do que 10 km/h, umidade relativa do ar superior a 55% e temperatura ambiente menor do que 30° C e o pulverizador deve estar configurado corretamente e a ponta de pulverização usada deve ter tecnologia para redução de deriva e estar

dimensionada para produzir gotas grossas, volume de calda previsto e velocidade de deslocamento correta (RIO GRANDE DO SUL, 2022).

Nos Estados Unidos, um caso de deriva relatado após a pulverização do herbicida dicamba em pós-emergência em plantas de soja e algodão tolerantes, causou prejuízos em cerca de 1,4 milhões de hectares de soja sensível ao herbicida nas regiões centro-sul e centro-oeste do país (KRUGER; ANTUNIASSI, 2019). De acordo com os mesmos autores, para avaliar os riscos de aplicação é preciso primeiro compreender a resposta biológica (em particular, a resposta à dose) de um organismo ao defensivo e entender o que levou a essa taxa de exposição, podendo, nesse caso, ser a contaminação do tanque, a deriva física de gotas e a volatilidade.

A sensibilidade do pepino a outros herbicidas já têm sido considerada em bioensaios para estimar níveis de resíduos de trifloxysulfuron (MONQUERO et al., 2008). Vários trabalhos usam essa espécie como bioindicadora de resíduos de sulfonilureias, em função da sua sensibilidade (SANTOS et al., 2007; SILVA et al., 2007).

Considerando a sensibilidade predominante das plantas cultivadas em relação aos herbicidas 2,4-D e dicamba, há uma perspectiva de ocorrência de exposição acidental dessas plantas suscetíveis a diferentes doses desses herbicidas. A partir da planta bioindicadora escolhida, o objetivo foi avaliar se os herbicidas 2,4-D e dicamba têm efeitos fitotóxicos proporcionais quando testados individualmente e se demonstram sinergia em termos de toxicidade quando utilizados em combinação, usando as plantas de pepino (*Cucumis sativus*) como bioindicadora.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os estudos de dose resposta de planta bioindicadora com 2,4-D, dicamba e mistura complementar, foi desenvolvido em casa de vegetação do Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia (NUPAM) da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Botucatu (22°84'S; 48°42'W Gr.).

a) Experimento 1

A espécie bioindicadora escolhida foi o pepino (*Cucumis sativus*) tanto pelo melhor desempenho na curva de dose-resposta nos estudos do capítulo anterior (capítulo 1), assim como facilidade de obtenção e cultivos das mudas. As plantas de pepinos foram semeadas em bandejas plásticas para mudas e após foram transplantadas para vasos de 350 mL (Figura 12).

Figura 12- Mudas de pepinos semeadas em bandejas plásticas (A) e mudas de pepinos transplantadas em vasos de 350 mL (B).



Para a confecção da curva de dose-resposta, foi usado 40%, 20%, 10% 5%, 2,5%, 1,25%, 0,625%, 0,3125% e 0 da dose recomendada em bula dos herbicidas 2,4-D (DMA 806 BR[®]) e dicamba (Atectra[®]). As doses recomendadas dos produtos são iguais e as concentrações são distintas, por isso, optou-se por padronizar as doses dos herbicidas nos bioensaios em mol ha⁻¹. Para bioensaios, costuma-se usar a dose dos produtos em mol ha⁻¹, porque permite padronizar a quantidade do produto químico aplicado de maneira mais precisa e consistente, independente das diferenças na concentração da formulação do produto ou na densidade da aplicação.

O estudo foi repetido em duas épocas para aumentar a consistência dos dados e evitar que se trabalhassem com ensaios muito grandes. Os tratamentos estão descritos na tabela 5.

Tabela 5- Descrição dos tratamentos aplicados em mudas de pepino no experimento 1.

Tratamento	Dose comercial L ha ⁻¹	% dose aplicada	Dose do ativo g.e.a ha ⁻¹	Mol ha ⁻¹ 2,4-D	Mol ha ⁻¹ dicamba	Mol ha ⁻¹ mistura
2,4-D	0	0	0	0	-	-
2,4-D	1,5	1,25	12,5625	0,057	-	-
2,4-D	1,5	2,5	25,125	0,114	-	-
2,4-D	1,5	5	50,25	0,227	-	-
2,4-D	1,5	10	100,5	0,455	-	-
2,4-D	1,5	20	201	0,909	-	-
2,4-D	1,5	40	402	1,819	-	-
Dicamba	0	0	0	-	0	-
Dicamba	1,5	1,25	9	-	0,041	-
Dicamba	1,5	2,5	18	-	0,081	-
Dicamba	1,5	5	36	-	0,163	-
Dicamba	1,5	10	72	-	0,326	-
Dicamba	1,5	20	144	-	0,651	-
Dicamba	1,5	40	288	-	1,303	-
2,4-D+Dicamba	0	0	0	0	0	0
2,4-D+Dicamba	1,5	1,25	0,028+0,020	0,028	0,02	0,049
2,4-D+Dicamba	1,5	2,5	0,057+0,041	0,057	0,041	0,098
2,4-D+Dicamba	1,5	5	0,114+0,081	0,114	0,081	0,195
2,4-D+Dicamba	1,5	10	0,227+0,163	0,227	0,163	0,39
2,4-D+Dicamba	1,5	20	0,455+0,326	0,455	0,326	0,78
2,4-D+Dicamba	1,5	40	0,909+0,651	0,909	0,651	1,561

Para as aplicações foi utilizado um sistema de pulverização estacionário com controle da velocidade e pressão de trabalho, constituído por barra de pulverização com quatro pontas de jato plano TeeJet XR 110.02 VS, espaçadas em 0,5 m e posicionadas a 0,5 m de altura em relação às plantas. O sistema foi operado com velocidade de deslocamento de 3,6 km h⁻¹, com volume de calda de 200 L ha⁻¹ e pressão constante de 150 kPa, pressurizado por ar comprimido (Figura 13).

Figura 13- Simulador utilizado para aplicação dos tratamentos.



Aos 5, 10 e 15 dias após a aplicação (DAA) foram realizadas avaliações visuais de fitointoxicação, com registro fotográfico nos três períodos. Ao final do experimento (15 DAA) as plantas foram coletadas para determinação da massa de matéria seca.

Os dados dos ensaios conduzidos em épocas diferentes foram analisados através da análise de variância e regressão a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$), para os dados de massa seca (g) foram ajustado modelo polinomial quadrático em função das doses em Mol ha⁻¹, conforme equação 2 e 3:

$$MS = 10^{(2+aX+bX^2)}$$

Equação 2

Ou

$$\log \% MS = 10(2 + aX + bX^2)$$

Equação 3

Onde, *MS* = massa seca; 2 = constante incluída para que o valor seja 100% quando a dose é zero; *a* e *b* = parâmetros do modelo; *x* = dose do herbicida (Mol ha^{-1}).

Foram analisados o comportamento quanto as doses complementares de cada herbicida com base nas equações de ajuste dos modelos cima descritos. Os ajustes dos dados aos modelos foram comparados quanto ao previsto pelo modelo dos herbicidas isolados e em mistura. A diferença das porcentagens de redução de massa seca do modelo previsto para os produtos isolados em relação aos herbicidas em mistura; e, valores superiores a zero resultam em maior redução da massa seca para um determinado herbicida, os gráficos e análises foram realizados no programa Excel (2016).

b) Experimento 2

A partir do experimento 1, descrito anteriormente neste mesmo capítulo, foram selecionadas novas subdoses para estudo do efeito da complementaridade dos herbicidas 2,4-D e dicamba isolados e em mistura, a fim de demonstrar a sinergia dos herbicidas quanto a redução de massa seca e possível sensibilidade a determinado herbicida. Os tratamentos estão descritos na tabela 6.

Tabela 6- Tratamentos aplicados nos pepinos no experimento 2.

Tratamentos	Mol ha^{-1}		g e.a ha^{-1}		mL p.c ha^{-1}	
	2,4-D	Dicamba	2,4-D	Dicamba	2,4-D	Dicamba
Test.	0	0	0	0	0	0
1	0,20	0	44,20	0	65,97	0
2	0,15	0,05	33,15	11,05	49,48	23,02
3	0,10	0,10	22,10	22,10	32,99	46,04
4	0,05	0,15	11,05	33,15	16,49	69,06
5	0	0,20	0	44,20	0	92,08

Os pepinos foram semeados em bandejas plásticas para mudas e após foram transplantados para vasos de 350 mL (Figura). Para as aplicações foi utilizado um sistema de pulverização com controle da velocidade e pressão de trabalho, constituído por barra de pulverização com quatro pontas de jato plano TeeJet XR 110.02 VS,

espaçadas em 0,5 m e posicionadas a 0,5 m de altura em relação às plantas. O sistema foi operado com velocidade de deslocamento de 3,6 km h⁻¹, com volume de calda de 200 L ha⁻¹ e pressão constante de 150 kPa, pressurizado por ar comprimido (Figura 13).

Aos 5, 10 e 15 dias após a aplicação (DAA) foram realizadas avaliações visuais de fitointoxicação, com registro fotográfico nos três períodos. Ao final do experimento (15 DAA) as plantas foram coletadas para determinação da massa de matéria seca.

Para representar melhor os efeitos dos herbicidas no crescimento das plantas, os dados de massa de matéria seca foram calculados em porcentagem em relação à testemunha (%). Para a análise foram ajustados modelos de regressão não-linear de Gompertz, desenvolvido por Gompertz (1825), seguindo procedimentos adaptados por Velini (1995), conforme equação 4.

$$Y = e^{[a - e^{(-b - c * x)}]} \quad \text{Equação 4}$$

Onde, o valor de F representa a frequência acumulada dos dados de massa seca dados porcentagem em relação a testemunha; *a*, *b* e *c* correspondem aos parâmetros da equação, sendo *a* assíntota máxima da curva; *b* o deslocamento da curva ao longo do eixo *x*; *c* inclinação ou concavidade da curva em relação à frequência acumulada.

A precisão do ajuste dos dados no modelo de Gompertz foi avaliada pelos coeficientes de determinação (R²) das equações. Também com base no modelo de Gompertz, foram determinadas as medidas de posição (moda, média e mediana) e de dispersão (coeficiente de variação) dos dados analisados. As médias aritméticas foram calculadas, enquanto os valores de moda foram estimados pelos parâmetros da equação, segundo Velini (1995), com a fórmula:

$$y = - b / c \quad \text{Equação 5}$$

E para as estimativas dos valores de mediana utilizou-se a equação:

$$Y = - \ln(a - 3,912) + b / c \quad \text{Equação 6}$$

As análises foram realizadas com o auxílio do programa estatístico SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, SAS Institute, version 9.1.3., Carry, North Carolina, USA).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

a) Experimento 1

Na tabela 7, os tratamentos 3 e 4 dos produtos isolados e em mistura apresentaram cerca de 50% de redução no acúmulo de biomassa de pepino. O pepino apresentou maior redução de massa seca quando conduzido na época 2, que também pode ser observado pelo efeito significativo demonstrado na Tabela 7. No entanto, o comportamento de redução de massa com o aumento das doses dos herbicidas isolados e em mistura foi observado em ambas as épocas.

A aplicação isolada de dicamba causou maior redução da massa seca quando consideramos tanto a quantidade de equivalente ácido em cada tratamento, quando a dose em Mol ha⁻¹ aplicadas. Nos tratamentos 3 e 4, quando é simulado 2,5 e 5% de deriva, para o herbicida 2,4-D, as doses aplicadas correspondem a 25,125 e 50,25 g e.a ha⁻¹, respectivamente e para o herbicida dicamba, isso corresponde à 18 e 36 g e.a ha⁻¹.

Tabela 7- Massa seca de pepino em relação à testemunha (%) da época 1 e 2 e a média da aplicação de dicamba e 2,4-D isolados e em mistura.

Tratamento	Herbicida	% deriva	Dose (Mol ha ⁻¹)	Massa seca (%)		
				Época 1	Época 2	Média
Testemunha		0	0	100	100	100
T1	Dicamba	1,25	0,0407	74,73	94,51	84,62
T2		2,5	0,0814	65,13	90,57	77,85
T3		5	0,1629	59,93	86,82	73,37
T4		10	0,3257	53,95	73,76	63,85
T5		20	0,6515	50,64	57,21	53,93
T6		40	1,303	30,58	47,08	38,83
Testemunha		0	0	100	100	100
T1	2,4-D	1,25	0,0568	86,23	94,51	90,37
T2		2,5	0,1137	79,06	69,33	74,2
T3		5	0,2274	59,8	80,2	70
T4		10	0,4547	63,29	82,11	72,7
T5		20	0,9094	55,05	63,26	59,16
T6		40	1,8188	44,67	63,7	54,18
Testemunha		0	0	100	100	100
T1	Dicamba + 2,4-D	1,25	0,0488	76,32	108,94	92,63
T2		2,5	0,0976	63,92	81,06	72,49
T3		5	0,1951	57,44	74,63	66,04
T4		10	0,3902	54,72	55,85	55,29
T5		20	0,7805	49,39	50,93	50,16
T6		40	1,5609	33,71	41,88	37,79

As maiores doses de deriva simulada dos herbicidas isolados e em mistura proporcionaram maior fitotoxicidade, bem como, aumento das injúrias com o aumento do tempo após aplicação. Nas Figura 14, Figura 15 e Figura 16, estão representadas as avaliações visuais da resposta das plantas de pepino com subdoses do herbicida dicamba, 2,4-D e da mistura, respectivamente. Pode-se observar que em geral, a maior fitotoxicidade foi proporcionada pela aplicação da mistura de dicamba e 2,4-D (Figura 16), seguida de dicamba (Figura 14) e 2,4-D (Figura 15) isolados.

Portanto, menores doses de deriva requerem maior tempo para causar efeitos iguais ou similares de injúrias do que quando submetidas a doses mais elevadas aplicadas em plantas de pepino, onde, logo após aplicação já é possível que os danos ocasionados sejam irreversíveis.

Figura 14 - Avaliação visual de fitotoxicidade das plantas de pepino da aplicação de dicamba isolado aos 1, 5 e 10 DAA.

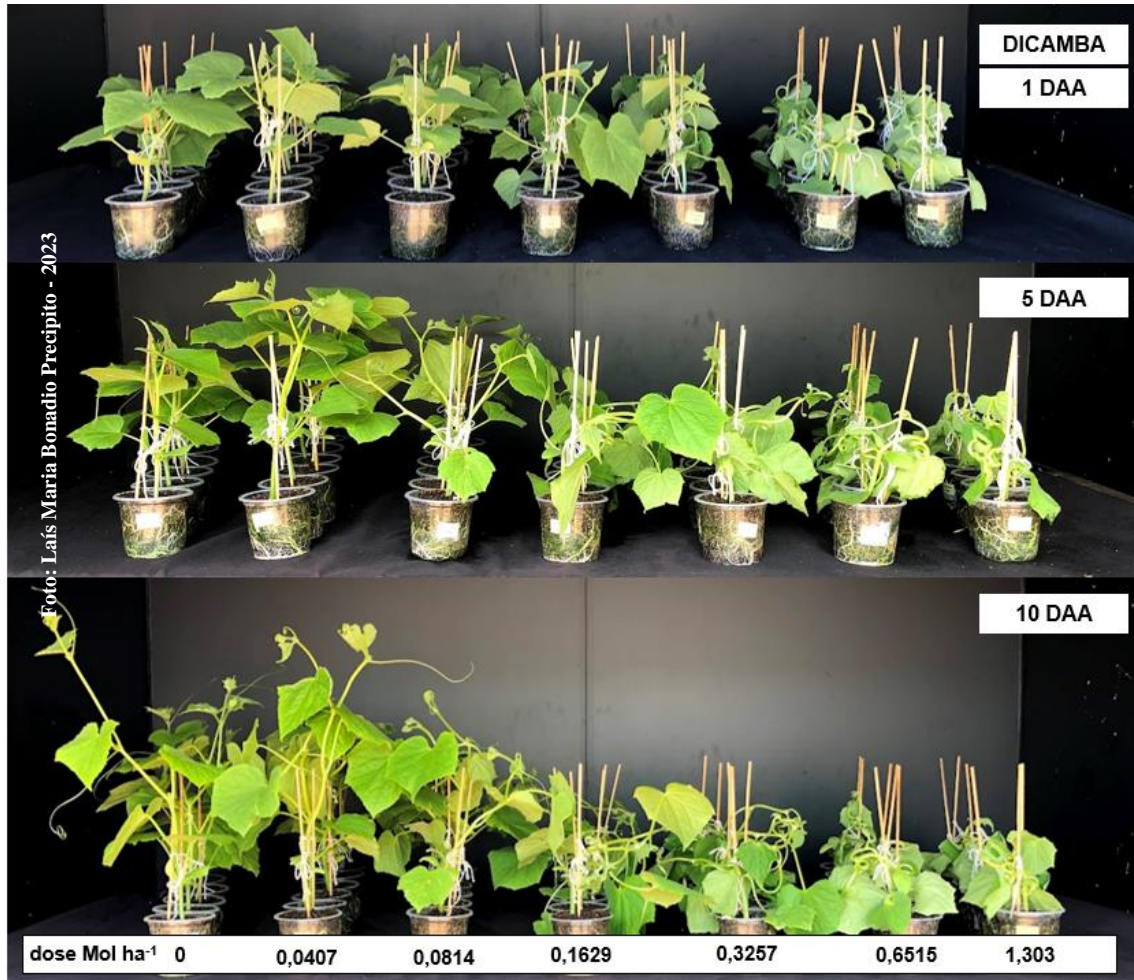


Figura 15- Avaliação visual de fitotoxicidade das plantas de pepino da aplicação de 2,4-D isolado aos 1, 5 e 10 DAA.



Figura 16- Avaliação visual de fitotoxicidade das plantas de pepino da aplicação da mistura complementar de dicamba e 2,4-D aos 1, 5 e 10 DAA.



A indústria de formulações de produtos químicos procura desenvolver novas formulações que trazem mais segurança ambiental e aos aplicadores dos químicos. Formulações inovadoras e seguras, aliada boas técnicas de aplicação como escolha correta das pontas de pulverização de acordo com o tipo de produto aplicado aliado ao uso de adjuvantes redutores de deriva, podem reduzir as perdas por volatilização e deriva durante e após a aplicação. Carbonari et al. (2022) ao avaliarem a volatilização de dicamba e associações com formulações de glyphosate e redutores de volatilização, verificaram que a formulação DGA de dicamba associada ao redutor de volatilização reduziu em cerca de 50% a quantidade volatilizada quando comparada a aplicação sem redutor de volatilização, nas condições do estudo.

Mesmo que, o referido estudo refere-se ao processo de volatilização e não propriamente a deriva de partículas, é um indicativo que há situações em que se

podem reduzir perdas de 50% ou mais da dose aplicada através do processo de volatilização e tais perdas, quando ocorrem, podem estar passíveis de movimentação, atingir culturas não-alvo e ainda assim causar perdas significativas.

Na Figura 14, está demonstrada a avaliação visual dos tratamentos aplicados com o herbicida dicamba e podemos notar que, quando comparada visualmente com a Figura 15, onde está representada a avaliação visual do herbicida 2,4-D, o herbicida dicamba causou injúrias nas plantas em uma escala maior. Porém, a maior fitointoxicação é notada na Figura 16, que demonstra a avaliação visual da mistura complementar dos herbicidas dicamba e 2,4-D.

A avaliação visual dos estudos de dose resposta corrobora com os resultados encontrados para massa seca, que demonstrou a redução da massa seca na mesma proporção que a fitointoxicação ocorreu e o uso da mistura teve efeito mais tóxico, seguida pelo dicamba e 2,4-D isolados. Optou-se adotar a análise da massa seca como parâmetro preferencial em vez da utilização da escala visual de notas de fitointoxicação. Esta escolha fundamenta-se no fato de que as avaliações baseadas em notas de fitointoxicação podem manifestar relativa subjetividade, variando conforme o avaliador.

Tais dados reforçam que com as novas tecnologias de plantas tolerantes ao 2,4-D e dicamba, faz-se necessário redobrar os cuidados com a tecnologia de aplicação em todo contexto, desde a escolha correta da ponta de pulverização, da instrução dos operadores, dos cuidados com as condições meteorológicas no momento da aplicação, na manutenção e limpeza dos pulverizadores e dos tanques preparadores de calda, para que não haja resíduos cumulativos dos herbicidas no tanque de pulverização ou no local de preparo de calda.

A análise de variância e regressão dos ensaios, demonstra na Tabela 8, que houve diferenças entre os tratamentos e épocas, entretanto não foi constatado efeito de interação entre os tratamentos e épocas. Ou seja, as épocas de condução do ensaio não influenciaram na resposta do pepino aos herbicidas testados. Neste caso, os dados puderam ser tratados conjuntamente para as demais análises, bem como o emprego dos dados em análises de regressão.

Tabela 8- Análise de variância das épocas 1 e 2 de pepino submetido a aplicação de dicamba e 2,4-D isolados e em mistura.

Herbicida	Fonte de variação	Valor de F ou da característica	Significância
Dicamba	Tratamentos (T)	17,48	**
	Épocas (E)	19,3	**
	T x E	0,17	Ns
	Coeficiente de Variação (%)	22,23	
	Regressão	93,29	**
	Coeficiente de determinação (R ²)	0,9587	
2,4-D	Tratamentos (T)	8,45	**
	Épocas (E)	4,86	**
	T x E	0,17	Ns
	Coeficiente de Variação (%)	23,69	
	Regressão	37,02	**
	Coeficiente de determinação (R ²)	0,8443	
Dicamba + 2,4-D	Tratamentos (T)	29,41	**
	Época (E)	12,52	**
	T x E	0,35	Ns
	Coeficiente de Variação (%)	19,39	
	Regressão	156	**
	Coeficiente de determinação (R ²)	0,9199	

As curvas de dose-resposta expressas em massa seca do pepino (g) em função das doses dos herbicidas dicamba e 2,4-D isolados em mistura demonstrados para ambas as épocas e a média geral, foram ajustados pelo modelo linear polinomial. Os dados obtidos sob aplicação do herbicida dicamba, 2,4-D e mistura apresentaram ajuste 92%,74% e 88%, respectivamente.

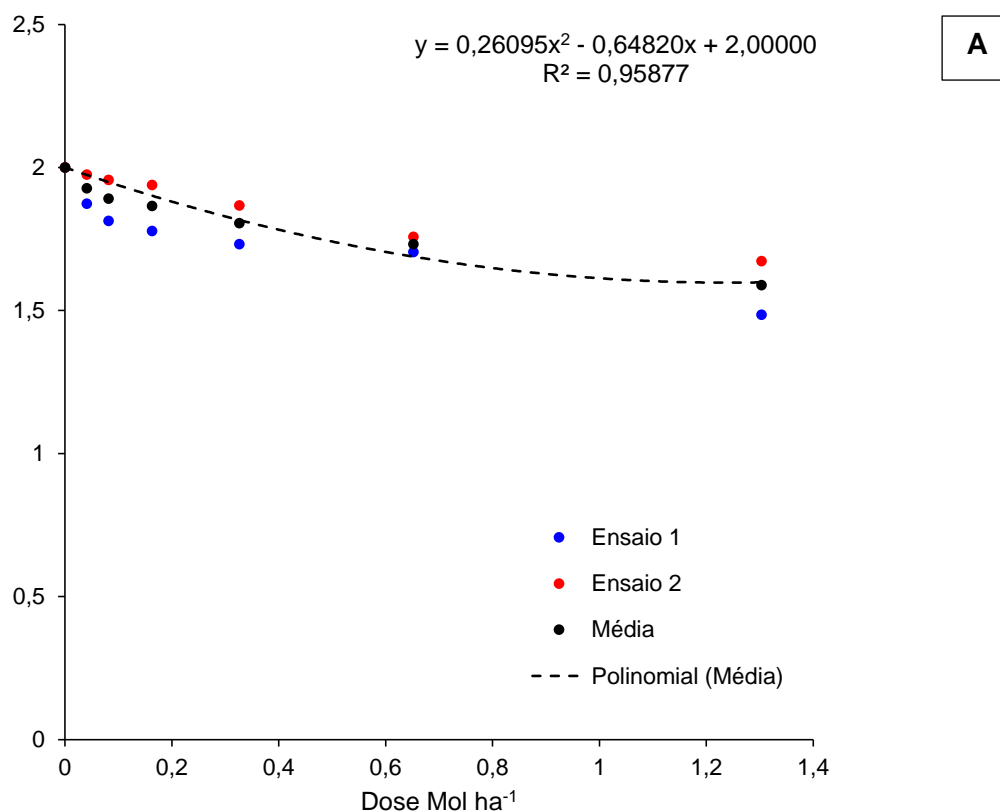
Os herbicidas isolados e em mistura demonstraram efeito sob a massa seca de pepino muito similar com o incremento das doses, ou seja, com o aumento da dose dos herbicidas houve redução da massa seca de pepino. O menor ajuste referente ao herbicida 2,4-D, pode ter sido devido a maior variação dos dados, porém é demonstrado consistência no comportamento de resposta ao herbicida.

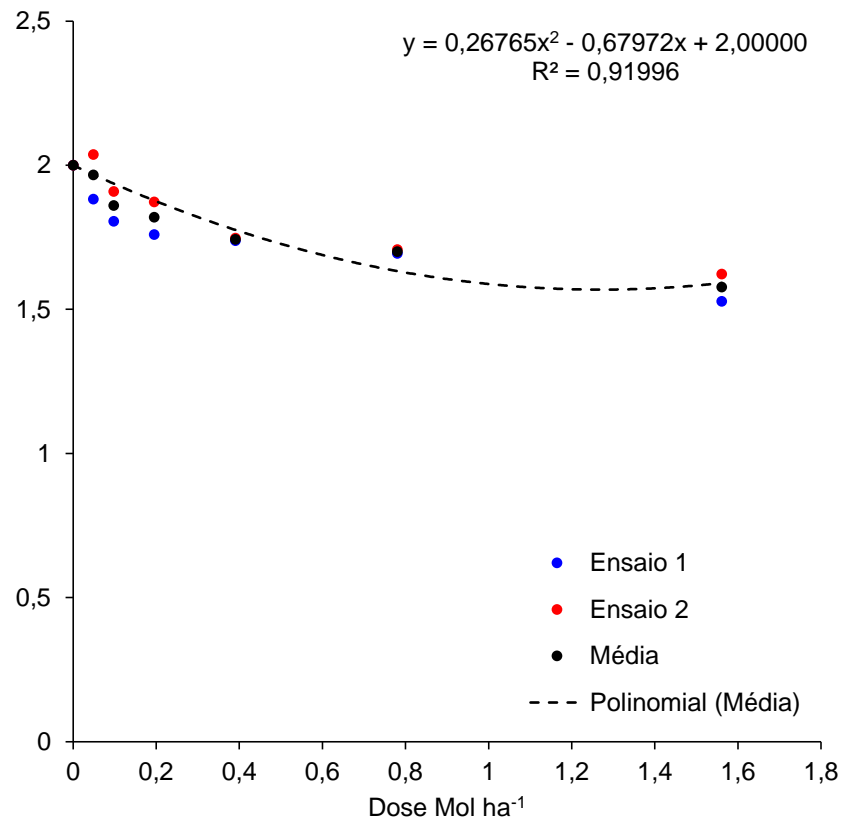
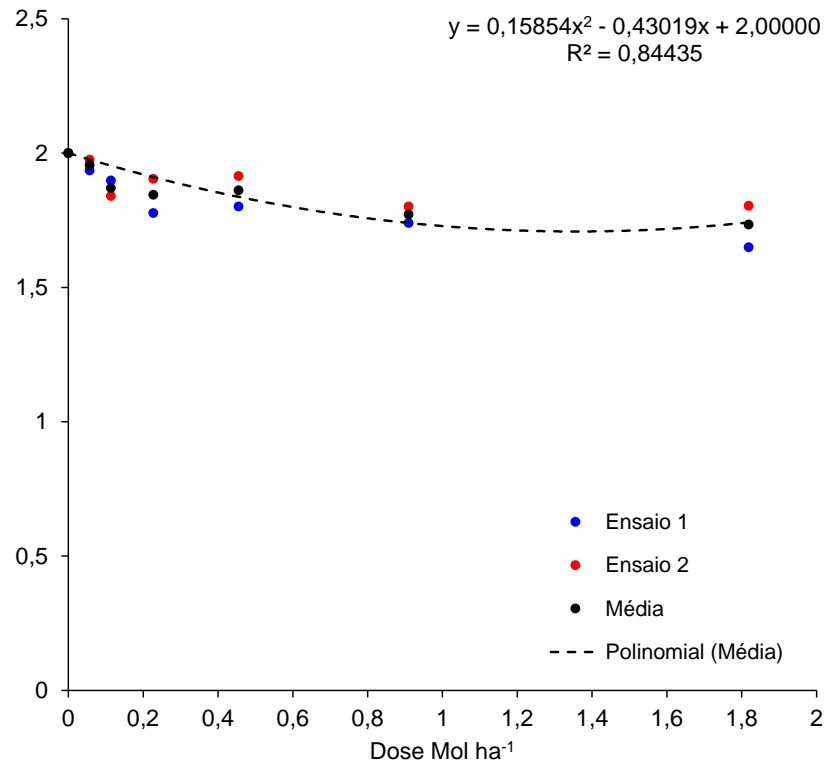
O comportamento dos ensaios e a média para os herbicidas isolados e em misturas permite que os dados sejam tratados conjuntamente. Uma vez que, optou-se por realizar ensaios separados no tempo para evitar condução de ensaios muito grandes e que possibilitasse consistência na resposta aos tratamentos.

A análise conjunta dos ensaios repetidos no tempo expressos na Figura 17, demonstram que a biomassa de pepino em função das doses dos herbicidas sofreu redução com o aumento das doses de dicamba e 2,4-D isolados ou em mistura. A redução de cerca de 50% no acúmulo de biomassa nas plantas de pepino foi observada entre os tratamentos 3 e 4, ou, entre 0,195 e 0,390 Mol ha⁻¹ da mistura. Podendo-se inferir uma maior sensibilidade do pepino ao herbicida dicamba.

Estudos conduzidos avaliando a sensibilidade da cultura do algodão aos herbicidas auxínicos, demonstraram que para o 2,4-D as maiores fitotoxicidades foram causadas pelas maiores doses e que a partir de 20,93 g i.a⁻¹ a planta não apresenta mais fitotoxicidade, e quando aplicado o dicamba, o algodão apresentou altos índices de fitotoxicidade até a dose de 35 g i.a ha⁻¹ e nas doses de 8,75 e 4,37 g i.a ha⁻¹ não apresentou fitotoxicidade (BOTEON, 2022)

Figura 17- Curva de dose-resposta dada em massa seca de pepino (g) submetido a doses de dicamba (A) e 2,4-D (B) (Mol ha⁻¹) isolados e em mistura (C), referente as épocas 1, 2 e a média de ambas as épocas.



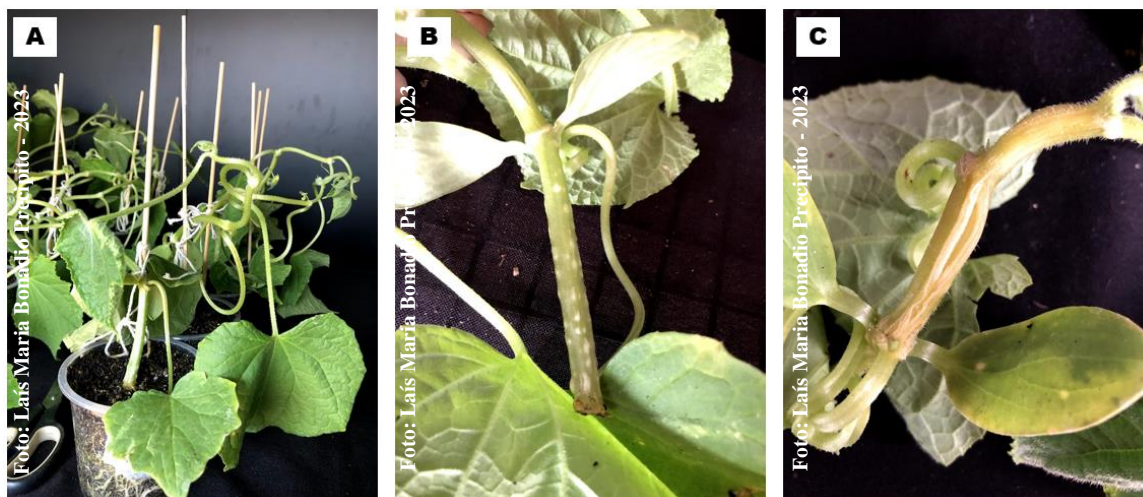


As auxinas em plantas medeiam diversas sinalizações para manutenção da homeostase celular durante o crescimento e desenvolvimento das plantas, além de apresentar uma relação íntima de regulação mútua com outros reguladores vegetais

como ABA e etileno. Uma vez que o balanço de auxinas é desregulado é esperado que ocorra uma cascata de consequências nos processos que estão envolvidas.

Os eventos induzidos nos tecidos podem apresentar três fases. A primeira é uma fase de estimulação após as primeiras horas da aplicação. Há ativação de processos metabólicos, biossíntese de etileno, seguida por sintomas decorrente da resposta tríplice do etileno, menor alongação do caule, inchaço, curvatura apical e pêlos nas raízes, assim como epinastia, e posteriormente acúmulo de ABA (Figura 16).

Figura 18- Sintomas característicos dos herbicidas auxínicos: epinastia (A) inchaço de caule (B) e (C).



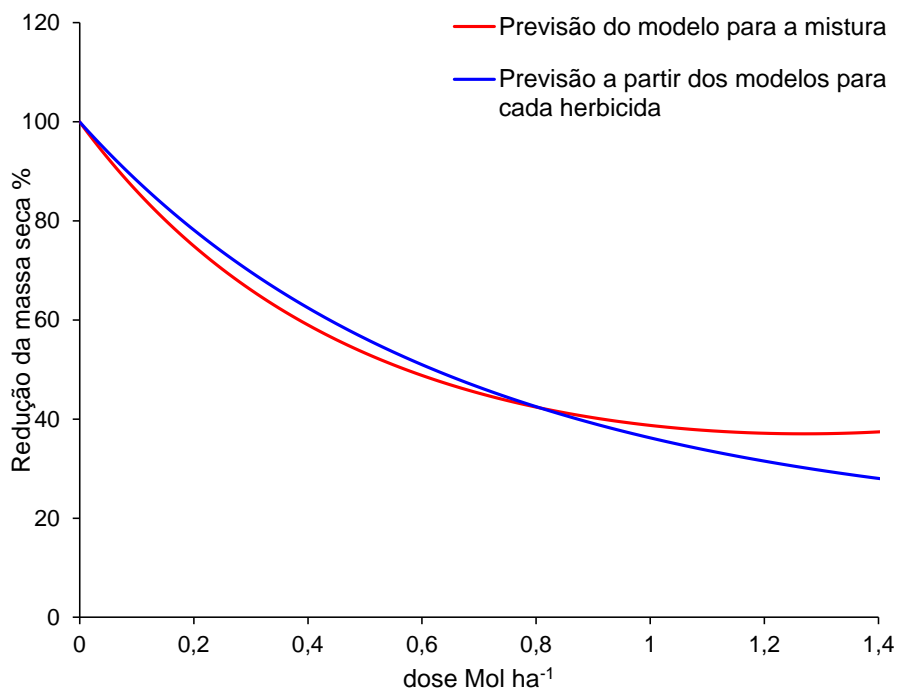
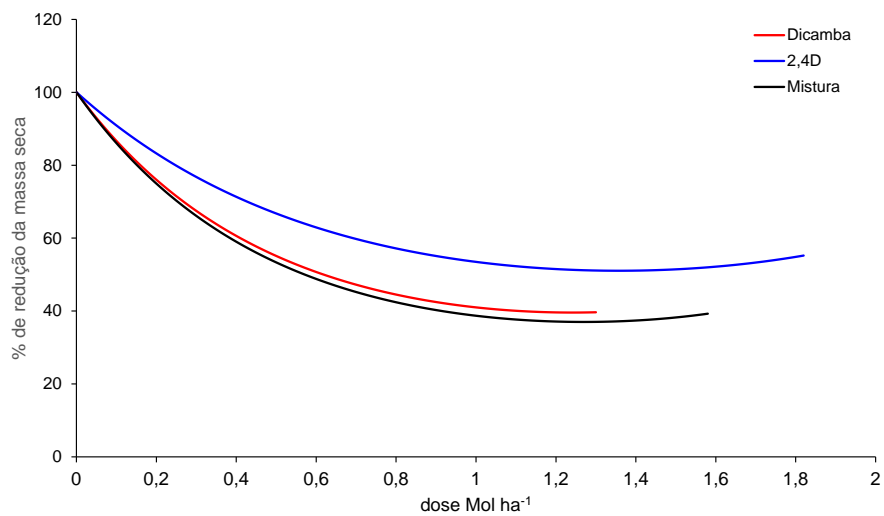
A partir dos modelos logarítmicos foi possível prever o comportamento de redução da biomassa causada pelos herbicidas dicamba e 2,4-D isolados e em mistura, bem como, sua interação relacionada aos efeitos encontrados nas plantas de pepino. Na

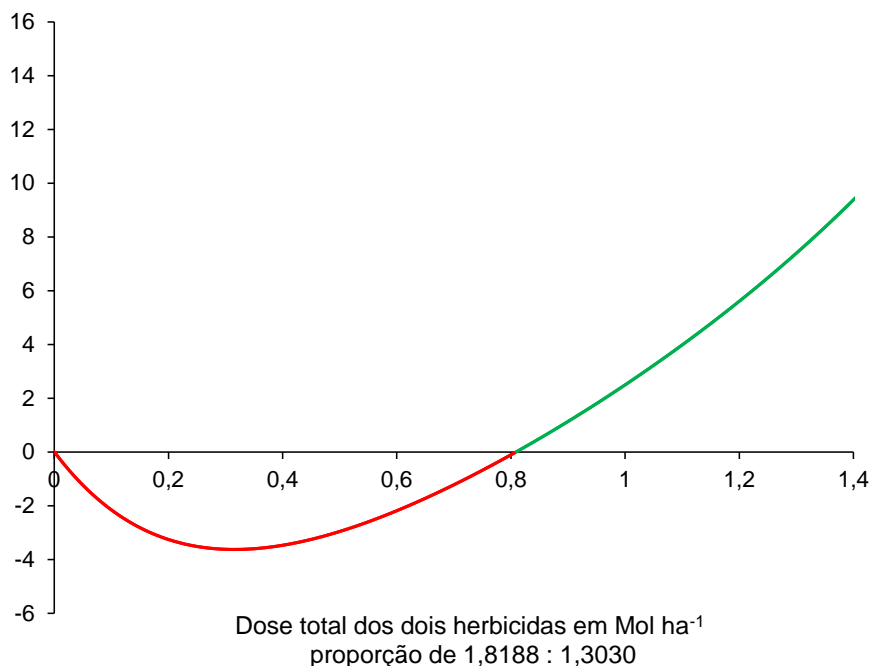
Figura 19 (A), a previsão do comportamento em função das doses em mol/ha demonstra que os herbicidas em mistura apresentam maior efeito fitotóxico quando comparado aos herbicidas isolados, demonstrando que o dicamba foi mais fitotóxico do que o 2,4-D.

Claramente, a mistura dos herbicidas demonstram efeito sinérgico potencializando a fitotoxicidade de plantas de pepino resultando no menor acúmulo de massa seca a medida que as doses são incrementadas (Figura 19 B). Os herbicidas

em mistura, quando alocados em questão proporcional de dose, sendo de 1,8188:1,3030, evidencia-se mais uma vez que, até a dose de 0,863 Mol ha⁻¹ o efeito dos herbicidas isolados são inferiores aos previstos quando aplicados de forma conjunta (Figura 19 C).

Figura 19- Curvas de previsão de resposta (A, B) e efeito (C) na massa seca de pepino (%) submetido a doses dos herbicidas dicamba e 2,4-D (Mol/ha) isolados e em mistura, das épocas 1 e 2.





Tais resultados serviram para fundamentar estudos posteriores visando a complementariedade de doses de dicamba e 2,4-D, e, principal fonte de poder fitotóxico entre os herbicidas auxínicos estudados. Portanto, a partir dos resultados acima discutidos, observou-se que, a dose na qual as plantas de pepino apresentaram redução de cerca de 50% no acúmulo de massa seca, quando submetida a aplicação dos herbicidas dicamba e 2,4 – D isolados e em mistura, encontram-se entre 5 e 10% da dose de deriva simulada, correspondendo à 0,1629 e 0,3257 Mol ha⁻¹ para dicamba, 0,2274 e 0,4547 Mol ha⁻¹ para 2,4 – D, e 0,1951 e 0,3902 Mol ha⁻¹ para a mistura.

b) Experimento 2

Na tabela 9, estão demonstrados a massa seca de pepino submetidos a aplicação de 2,4-D e dicamba em mistura complementar, dados em porcentagem em relação a testemunha de ambas as épocas e a média geral dos ensaios. Devido a ausência de interação significativa entre os tratamentos e as épocas dos ensaios, os dados foram tratados conjuntamente e ajustados ao modelo de Gompertz, onde os parâmetros estão demonstrados na tabela 10.

Tabela 9- Massa seca de pepino em relação à testemunha (%) da época 1 e 2 e a média da aplicação de dicamba e 2,4-D isolados e em mistura.

Tratamento	Mol ha ⁻¹		MS - % da testemunha		
	2,4-D	Dicamba	Época 1	Época 2	Média
Testemunha	0	0	100,00	100,00	100,00
T1	0,20	0	75,61	80,26	77,94
T2	0,15	0,05	72,75	88,02	80,39
T3	0,10	0,10	63,44	79,36	71,40
T4	0,05	0,15	68,39	84,54	76,47
T5	0	0,20	53,49	91,67	72,58
Fonte de variação	Valor de F ou da característica		Significância		
Tratamentos (T)			16,28	**	
Experimentos (E)			50,56	**	
T x E			2,03	Ns	
Coeficiente de Variação (%)			18,92		
Época 1					
Testemunha vs Herbicidas			68,79	**	
Entre Herbicidas			5,67	**	
Época 2					
Testemunha vs Herbicidas			14,42	**	
Entre Herbicidas			2,01	Ns	

Os dados de massa seca de pepino submetido a doses complementares de 2,4-D e dicamba apresentaram ajuste em mais 95% ao modelo de Gompertz (Tabela 10). Houve maior variação nos dados da testemunha e no tratamento 4 (0,05 Mol ha⁻¹ 2,4-D + 0,015 Mol ha⁻¹ dicamba), demonstrado pelo menor valor do parâmetro *c* (inclinação da curva). Entretanto, o tratamento 5 (0 Mol ha⁻¹ 2,4-D + 0,20 Mol ha⁻¹ dicamba) apresentou menor variabilidade de resposta comparado aos demais, observado pelo maior valor do parâmetro *c*. Tal parâmetro, refere-se a inclinação das curvas ajustadas onde valores maiores representam menor inclinação da curva, e, portanto, menor variação dos dados.

Os parâmetros estatísticos da média, moda e mediana também foram demonstrados na tabela 10. Através da moda, refere-se aos valores que ocorreram em maior frequência, é possível verificar que o tratamento 5 proporcionou redução de cerca de 50% na massa seca de pepino na maioria das plantas avaliadas.

Tabela 10- Parâmetros do modelo de Gompertz para dos dados de redução de massa seca de pepino (%) época 1 e 2 e a média da aplicação de dicamba e 2,4-D isolados e em mistura.

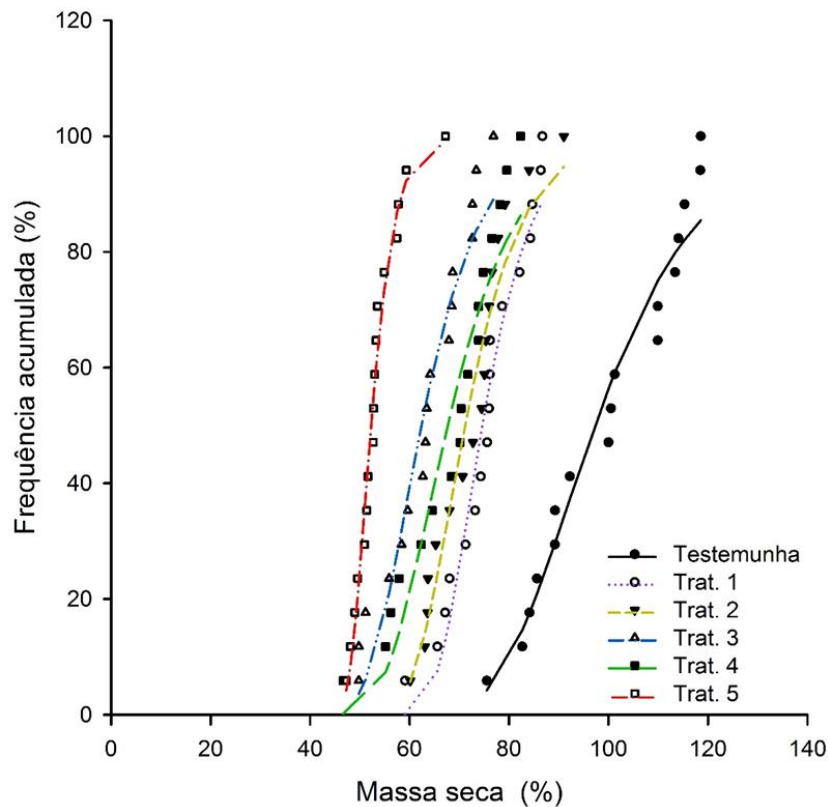
Ensaio	Tratamentos	Parâmetros do modelo de Gompertz							
		a	b	c	F	R ²	Média	Moda	Mediana
Época 1	Testemunha	4,605	-6,425	0,070	720,410	0,990	100,000	92,050	97,302
	1	4,605	-10,476	0,145	825,260	0,991	75,615	72,145	74,670
	2	4,605	-8,782	0,129	671,070	0,989	72,748	68,346	71,198
	3	4,605	-7,367	0,124	675,740	0,989	63,442	59,456	62,415
	4	4,605	-6,789	0,106	442,160	0,983	68,389	64,227	67,695
	5	4,605	-15,574	0,305	1645,790	0,995	53,485	51,045	52,246
Época 2	Testemunha	4,605	-8,416	0,090	1470,820	0,995	100,000	93,299	97,363
	1								
	2								
	3	4,605	-4,329	0,057	24699,600	0,998	84,772	75,951	82,382
	4								
	5								
Épocas unificadas	Testemunha	4,605	-7,042	0,076	4023,770	0,996	76,265	93,146	97,994
	1	4,605	-6,556	0,091	6161,790	0,997	75,461	71,802	75,817
	2	4,605	-6,567	0,090	11231,200	0,999	75,918	72,722	76,782
	3	4,605	-4,328	0,070	6380,290	0,997	75,974	62,177	67,444
	4	4,605	-6,521	0,093	2423,000	0,993	76,056	69,887	73,817
	5	4,605	-3,024	0,052	1145,880	0,986	76,146	58,038	65,074

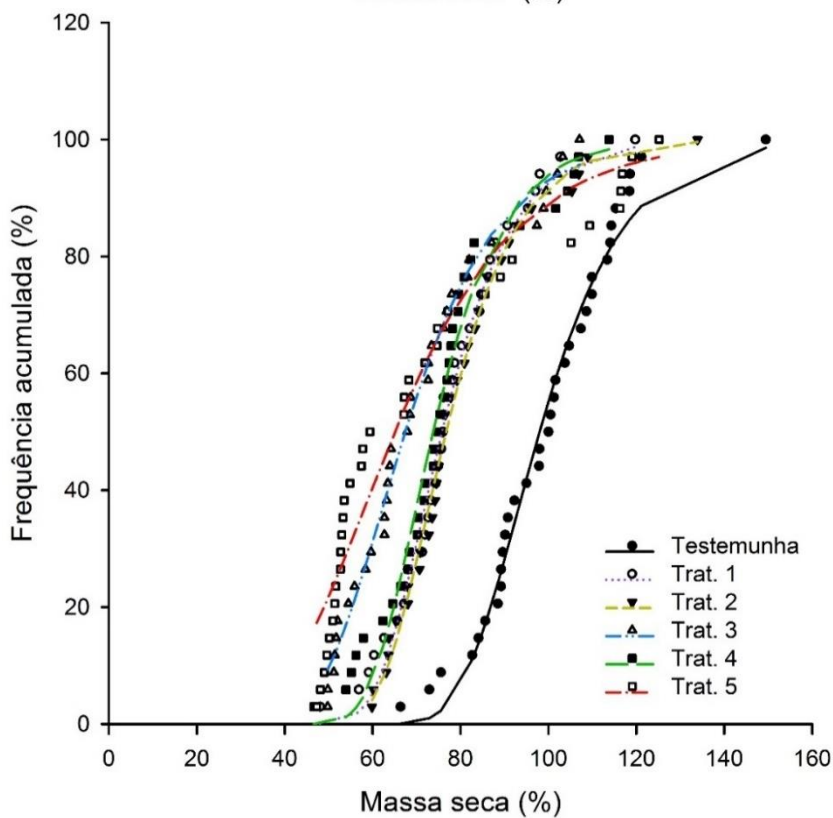
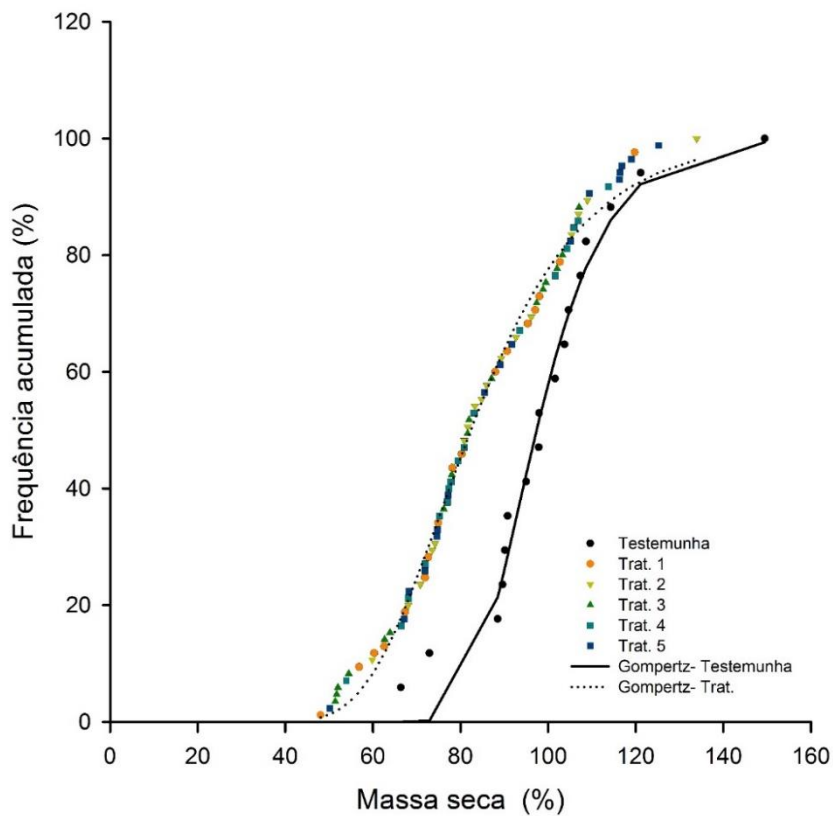
Para a época 1, os tratamentos que tiveram maiores doses de dicamba na mistura complementar (tratamentos 3, 4 e 5) a porcentagem de massa seca em relação à testemunha teve redução variando de 63,44%, 68,39% e 53,49% (Figura 20 A e 20 B), quanto mais vertical a curva, maior o número de repetições que apresentaram essa redução.

Para a época 2, o tratamento 3 em que metade da dose era de 2,4-D e metade de dicamba (0,10 Mol ha⁻¹ 2,4-D :0,10 Mol ha⁻¹ dicamba), mostrou maior sinergia entre a mistura dos produtos e menor valor na porcentagem de redução da massa seca (Figura 20 B). Considerando a média geral entre os ensaios 1 e 2, o tratamento 3 (0,10 Mol ha⁻¹ 2,4-D :0,10 Mol ha⁻¹ dicamba), o tratamento 5 (0 Mol ha⁻¹ 2,4-D :0,20 Mol ha⁻¹ dicamba), e o tratamento 1 (0,20 Mol ha⁻¹ 2,4-D : 0 Mol ha⁻¹ dicamba), apresentaram menores valores de porcentagem de massa seca em relação à testemunha (Figura 20 C).

As curvas de frequências acumuladas permitem a visualização da resposta das plantas de pepino demonstrada pela massa seca obtida entre os tratamentos quando submetidas a aplicação de 2,4-D e dicamba nas diferentes proporções de dose. O cume da curva representa os valores de massa seca com maior frequência em cada tratamento. À medida que a inclinação da curva tende a diminuir, maior é a variação entre os valores máximos e mínimos.

Figura 20- Curvas de frequência acumuladas de massa seca de pepino (%) em função de doses complementares de 2,4-D e dicamba, das épocas 1 (A), 2 (B) e ambas as épocas (C).





*Trat. = Tratamento/ Testemunha: 0/ Tratamento 1: 0,20 Mol há⁻¹ 2,4-D + 0 Mol há⁻¹ dicamba / Tratamento 2: 0,15 Mol há⁻¹ 2,4-D + 0,05 Mol há⁻¹ dicamba / Tratamento 3: 0,10 Mol há⁻¹ 2,4-D + 0,10 Mol há⁻¹ dicamba / Tratamento 4: 0,05 Mol há⁻¹ 2,4-D + 0,015 Mol há⁻¹ dicamba / Tratamento 5: 0 Mol há⁻¹ 2,4-D + 0,20 Mol há⁻¹ dicamba.

O ensaio 1 demonstrado na Figura 20 (A) ao comparar 2,4-D e dicamba, a ocorrência de plantas com efeitos inibitórios foi maior quando o dicamba foi aplicado. Os demais tratamentos, com uso dos herbicidas em mistura, tiveram comportamentos intermediários aos observados para os produtos isolados indicando ação conjunta dos herbicidas em termos de intoxicação. As diferenças entre as linhas e a significância do contraste "entre herbicidas" indicaram que respostas diferenciadas podem ser obtidas quando são aplicadas diferentes proporções entre 2,4-D e dicamba ou os produtos isolados.

Já para o ensaio 2 (Figura 20 B), as distribuições de frequência para cada tratamento e a ausência de significância para o contraste "entre herbicidas" indicou que os tratamentos com diferentes proporções de 2,4-D e dicamba, ou os produtos isolados, foram similares em termos de probabilidade de redução da biomassa das plantas de pepino.

Ainda, o coeficiente de determinação (R^2) de 0,996, o maior observado nos experimentos foi obtido para o ajuste entre a biomassa expressa em porcentagem da testemunha e a frequência acumulada considerando todas as 85 observações referentes aos tratamentos com herbicidas (Figura 20 C). Portanto, o modelo que utilizou como variável independente a soma das doses dos herbicidas 2,4-D e dicamba foi muito eficiente em representar os dados obtidos, indicando que os efeitos entre os herbicidas foram aditivos.

Na Figura 21, é possível observar que a maior intoxicação das plantas de pepino foi causada nos tratamentos em que há maior dose do herbicida dicamba (T5 e T4) e no tratamento T3, em que a dose em mol ha^{-1} dos dois herbicidas são iguais.

Figura 21- Avaliação visual de fitotoxicidade das plantas de pepino da aplicação de dicamba isolado aos 1, 5 e 10 DAA.



2.4 CONCLUSÕES

Há redução no acúmulo de massa seca de plantas de pepinos quando submetidos a aplicação de dicamba e 2,4-D isolados e em mistura.

O aumento das doses dos herbicidas dicamba e 2,4-D isolados e em mistura favorece o aumento da fitotoxicidade e redução do acúmulo de massa seca de plantas de pepino.

Utilizando pepino como planta indicadora, os herbicidas 2,4-D e dicamba apresentaram efeitos aditivos ou sinérgicos em termos de intoxicação e redução da biomassa.

A dose referente a 10% de deriva simulada ou cerca de 0,3257 e 0,04547 Mol ha⁻¹ de dicamba e 2,4-D, respectivamente, ocasionam cerca de 50% de redução de massa seca de plantas de pepino.

O herbicida dicamba foi mais tóxico do que o 2,4-D e a mistura dos herbicidas apresentou sinérgismo no quesito fitotoxicidade.

REFERÊNCIAS

BOTEON, Beatriz Fogolari. Sensibilidade de plantas cultivadas ao dicamba e 2, 4-D aplicados em doses comerciais e subdoses. 2022.

BUOL, John T. et al. The effect of cotton growth stage on response to a sublethal concentration of 2, 4-D. **Weed Technology**, v. 33, n. 2, p. 321-328, 2019.

CARBONARI, C.A.; COSTA, R.N.; GIOVANELLI, B.F.; BEVILAQUA, N.C.; PALHANO, M.; BARBOSA, H.; LOPEZ OVEJERO, R.F.; VELINI, E.D. Volatilization of Dicamba Diglycolamine Salt in Combination with Glyphosate Formulations and Volatility Reducers in Brazil. **Agronomy**, v.12, p.1001, 2022.

EMENECKER, R. J; STRADER, L.C. Auxin-Abscisic Acid Interactions in Plant Growth and Development. **Biomolecules**, v.10, n.281, 2020.

GOMPERTZ, B. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. **Philosophical transactions of the Royal Society of London**, v. 115, p. 513-583, 1825.

JONES, G. Travis. **Evaluation of dicamba off-target movement and subsequent effects on soybean offspring**. University of Arkansas, 2018.

KRUGER, G. R.; ANTUNIASSI, U. R. Deriva na pulverização em culturas anuais. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. (org.). **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. 2. ed. rev. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2019. p. 319-329

MATILLA, A.J. Auxin: Hormonal Signal Required for Seed Development and Dormancy. **Plants**, v.9, n.705, 2020.

MONQUERO, P. A. et al. Potencial de lixiviação de herbicidas no solo submetidos a diferentes simulações de precipitação. **Planta daninha**, v. 26, p. 403-409, 2008.

OLIVEIRA, M. F.; BRIGHENTI, A. M. Comportamento de herbicidas no ambiente. In: OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. 22ª ed. Curitiba: Omnipax Editora Ltda, 2011, p. 263-304.

PAPONOV, I.A.; DINDAS J; KRÓL, E; FRIZ, T; BUDNYK, V; TEALE, W; PAPONOV, M; HEDRICH, R; PALME, K. Auxin-Induced Plasma Membrane Depolarization Is Regulated by Auxin Transport and Not by AUXIN BINDING PROTEIN1. **Front. Plant Sci.** 9:1953, 2019.

R CORE TEAM (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>

REN, S; RUTTO, L; KATUURAMU, D. Melatonin acts synergistically with auxin to promote lateral root development through fine tuning auxin transport in *Arabidopsis thaliana*. **PLoS ONE**, v. 14, n.8, e0221687, 2019.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Constituição (2022). Instrução Normativa Seapdr nº 13/2022, de 15 de setembro de 2022. Regulamenta o cadastro de aplicadores de

produtos agrotóxicos hormonais, sua aplicação e dá outras providências.. **Instrução Normativa Seapdr N° 13/2022**. Porto Alegre, RS, 15 set. 2022. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202209/16142253-ins-12-e-13-2022-compiladas.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2023.

SANTOS, JB dos et al. Fitorremediação de áreas contaminadas por herbicidas. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**, p. 210-329, 2007.

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

SILVA, AA da; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R. Herbicidas: classificação e mecanismo de ação. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**, v. 1, p. 83-148, 2007.

SYSTAT SOFTWARE INC. SigmaPlot versão 12.5. San Jose, California, 2013.

VELINI, E.D. **Estudos e desenvolvimento de métodos experimentais e amostrais adaptados à matologia**. 1995. 250f. Tese (Doutorado em Agronomia/Produção Vegetal) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, 1995

WEED SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. (2021).Herbicide site of action (SOA) classification list. **Weed Science Society of America**. <https://wssa.net/wssa/weed/herbicides/>

ZHANG, Y.; YU, J.; XU, X.; WANG, R.; LIU, Y.; HUANG, S.; WEI, H.; WEI, Z. Molecular Mechanisms of Diverse Auxin Responses during Plant Growth and development. *Int.J. Mol. Sci.* **2022**, 23, 12495. <https://doi.org/10.3390/ijms232012495>

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A escolha da planta bioindicadora para avaliação da dose-resposta dos herbicidas 2,4-D (sal dimetil amina) e Dicamba (sal DGA) aplicados em pós-emergência das culturas foi o pepino (*Cucumis sativus*). Essa escolha foi embasada tanto na simplicidade de obtenção e manejo das mudas, quanto na manifestação de sensibilidade evidenciada no âmbito deste estudo.

Vale salientar a ausência de informações substanciais na literatura que abordem a identificação de espécies mais idôneas como indicadoras biológicas em experimentos que abrangem a aplicação pós-emergencial dos herbicidas 2,4-D e dicamba em sistemas agrícolas. Como resultado, surgem oportunidades para a realização de investigações adicionais nesse domínio.

A utilização de *Cucumis sativus* como parte de uma estratégia de plantas sentinelas para fins de monitoramento ambiental, visando a detecção desses herbicidas em regiões rurais, apresenta-se como uma abordagem que pode possibilitar a adoção de medidas preventivas ou corretivas antes da manifestação de impactos significativos causados pelos herbicidas 2,4-D e dicamba.

REFERÊNCIAS

DUQUE, Tayna Sousa et al. Uso de bioindicadoras vegetais para identificação de resíduos de herbicidas no solo. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. e999998123-e999998123, 2020.

NYFFELER, A. et al. Collaborative studies of dose-response curves obtained with different bioassay methods for soil-applied herbicides. **Weed Research**, v. 22, n. 4, p. 213-222, 1982.

SOUZA, Adailson P. de et al. Lixiviação do glyphosate e do imazapyr em solos com diferentes texturas e composição química: II. método analítico. **Planta Daninha**, v. 17, p. 245-262, 1999.

VELINI, E. D.; CARBONARI, C. A. Brasil: informando corretamente sobre o uso e os riscos dos agrotóxicos. *In*: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. (org.). **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. 2. ed. rev. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2019. p. 367-373.