



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Campus de Botucatu



**TAMARA THAÍS MUNDT**

**DINÂMICA E EFICÁCIA DO HERBICIDA DICAMBA QUANDO APLICADO NO  
SISTEMA SOLO E PALHA**

**Botucatu**

**2021**



**TAMARA THAÍS MUNDT**

**DINÂMICA E EFICÁCIA DO HERBICIDA DICAMBA QUANDO APLICADO NO  
SISTEMA SOLO E PALHA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Agricultura).

Orientador(a): Caio Antonio Carbonari

Coorientador(a): Ivana Paula Ferraz Santos de Brito

**Botucatu**

**2021**

M965d Mundt, Tamara Thaís  
DINÂMICA E EFICÁCIA DO HERBICIDA DICAMBA QUANDO  
APLICADO NO SISTEMA SOLO E PALHA / Tamara Thaís Mundt. –  
Botucatu, 2021  
86 p. : tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),  
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu  
Orientador: Caio Antonio Carbonari  
Coorientadora: Ivana Paula Ferraz Santos de Brito

1. Mimetizadores de auxina. 2. Cromatografia. 3. Controle de  
plantas daninhas. 4. Glycine max (L.). 5. Gossypium hirsutum. I. Título.

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

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: DINÂMICA E EFICÁCIA DO HERBICIDA DICAMBA QUANDO APLICADO NO SISTEMA SOLO E PALHA

AUTORA: TAMARA THAIS MUNDT

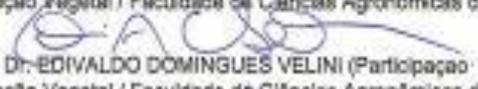
ORIENTADOR: CAIO ANTONIO CARBONARI

COORDENADORA: IVANA PAULA FERRAZ SANTOS DE BRITO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. CAIO ANTONIO CARBONARI (Participação Virtual)  
Proteção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP



Prof. Dr. EDIVALDO DOMINGUES VELINI (Participação Virtual)  
Proteção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP



Pesquisador Dr. RAMIRO FERNANDO LOPEZ OVEJERO (Participação Virtual)  
Manejo de Plantas Daninhas / Monsanto do Brasil Ltda.

Botucatu, 25 de fevereiro de 2021



*Aos meus amados pais e irmão,*

*Carlos, Leoni e Mateus*

*Dedico.*



## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus por todas as bênçãos recebidas, pelas pessoas que tenho encontrado em meu caminho, pelo dom da vida, da sabedoria e por nunca ter me deixado perder a fé, iluminando o meu caminho durante toda a minha jornada.

Aos meus queridos pais, por todo o apoio e incentivo aos meus sonhos, por sempre me incentivarem e torcerem por mim. Ao meu irmão, pela paciência, amor e carinho.

Ao meu orientador Professor Dr. Caio Antonio Carbonari, por ter confiado este projeto a mim, pela orientação, ensinamentos e paciência, além do exemplo e dedicação na área da ciência das plantas daninhas.

Ao Professor Dr. Edivaldo Domingues Velini pelas valiosas contribuições nesta pesquisa e por sempre compartilhar de seus experimentos.

A Dra. Ivana Paula Ferraz Santos de Brito, pela coorientação, conselhos e apoio durante toda a pesquisa; e a Dra. Ana Karollyna Alves de Matos, por todo o ensinamento e valiosas contribuições.

Aos Professores e amigos Alfredo Junior Paiola Albrecht e Leandro Paiola Albrecht, pela amizade, conhecimentos, iniciação nesta área e pelo incentivo ao ingresso na pesquisa e pós-graduação.

A todos aqueles que me auxiliaram na condução dos experimentos, por não terem medido esforços e estarem sempre ao meu lado, partilhando do sol quente, mas também de boas risadas, Bruno Cosmo, Guilherme Baccarim, Ivana Moisinho, Izabela Santos, Jéssica Bonamichi, Laís Bonadio, Leila Bernat, Luanna Gomes, Natália Bevilaqua, Raphael Negrisoni, Renato Nunes, Saulo Simões, Tatiani Galeriani, Valesca Miranda, Willian Zanetti, e em especial ao Vitor Rodrigues, por não ter perdido a paciência e ter permanecido em todos os momentos.

Aos amigos de longa data, Ana Ceccon, Ana Grespan, Ana Pagenotto, Desiree Almeida, Gustavo Nandi, Tulya Webler e a todos que estiveram comigo comemorando as conquistas e dando apoio nos momentos difíceis.

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa de estudos concedida.

A Bayer Crop Science pelo suporte e interesse na pesquisa. Em especial ao Gilmar Picolli, por toda a ajuda na condução dos experimentos.

A Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA – UNESP Botucatu) e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia – Agricultura, pelo conhecimento compartilhado nas disciplinas.

Ao Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia (NUPAM), por toda a estrutura e suporte prestado.

Aos técnicos, José Roberto Marques Silva, José Guilherme Ferreira Cordeiro e Luis Marcelo Siono por toda a ajuda durante este período.

Enfim, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta pesquisa, e me auxiliaram nesta conquista.

Muito obrigada!

*“Determinação, coragem e autoconfiança são fatores decisivos para o sucesso. Se estamos possuídos por uma inabalável determinação, conseguiremos superá-los. Independentemente das circunstâncias, devemos ser sempre humildes, regados e despidos de orgulho.”*

LAMA, D. O Livro de Dias. 1 ed. Rio de Janeiro:  
Editora Sextante, 2001, 400p.



## RESUMO

Uma parte de toda aplicação de produto fitossanitário utilizado na agricultura tem como destino final o solo. Com relação a herbicidas, diversos fatores podem influenciar na dinâmica do produto no ambiente e disponibilidade para o controle de plantas daninhas. O dicamba é um herbicida utilizado na dessecação pré-semeadura e para controle em pós-emergência de plantas daninhas de folha larga. Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar a dinâmica do dicamba aplicado no solo e na palha. Os ensaios foram realizados em Botucatu – SP (solo argiloso), Santa Cruz das Palmeiras – SP (solo argiloso), Luís Eduardo Magalhães – BA (solo arenoso) e em casa de vegetação. Foram aplicadas 4 doses do herbicida (120, 240, 480 e 720 g e. a.) sobre o solo, sobre o solo e posterior colocação da palha de milho e sobre a palha, além de testemunhas com e sem palha, em blocos casualizados (campo) e delineamento inteiramente casualizados (casa de vegetação), com 4 repetições cada. As aplicações em campo foram realizadas com pulverizador costal pressurizado a CO<sub>2</sub>, equipado com barra de 6 pontas de jato plano da série Teejet TTI 110 015. Foram realizadas coletas de solo na profundidade de 0-10 cm 1 dia após a aplicação nas 3 cidades, e 6, 11 e 30 dias após a aplicação em Botucatu (0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm), e 4, 15 e 30 DAA em Santa Cruz das Palmeiras e Luís Eduardo Magalhães (0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm) que posteriormente foram levadas para análises cromatográficas no laboratório NUPAM-FCA/Unesp. As aplicações dos experimentos em casa de vegetação foram realizadas em simulador de pulverização, equipado com barra de 4 pontas de jato plano da série Teejet tipo TTI 110.015. Em todos os experimentos foram realizadas avaliações de controle das plantas daninhas, e nos experimentos de Botucatu, Santa Cruz das Palmeiras e casa de vegetação, realizou-se também a densidade populacional de plantas. Nas 3 localidades estudadas as concentrações de dicamba encontradas foram superiores nos tratamentos aplicados sobre o solo sem a adição da palha. Botucatu apresentou as menores concentrações do herbicida, possivelmente devido as precipitações ocorridas durante o desenvolvimento do experimento. O solo de Luís Eduardo Magalhães apresentou as maiores quantidades de herbicida em todos os períodos, fato este que pode estar relacionado com uma menor quantidade de matéria orgânica e conseqüentemente menor degradação do herbicida. Ainda, apresentou maiores concentrações nas camadas superficiais que pode ser explicado pela baixa concentração pluviométrica

naquela região durante o experimento. O controle de plantas daninhas apresentou baixos índices no experimento realizado em campo em Botucatu, seguido de Santa Cruz das Palmeiras, e Luís Eduardo Magalhães obtendo os melhores índices de controle, que está relacionado com uma maior quantidade da molécula herbicida encontrada no solo. O controle de plantas daninhas em casa de vegetação foi eficiente e ainda apresentou altos níveis de controle das plantas de soja e algodão, principalmente nas maiores doses estudadas, além de diminuição acentuada na densidade de plantas com a soja mostrando-se mais sensível que o algodão. A densidade populacional de plantas daninhas foi diminuída em todos os experimentos realizados.

**Palavras-chave:** mimetizadores de auxinas. Cromatografia. Controle de plantas daninhas. *Glycine max* (L.). *Gossypium hirsutum*.

## ABSTRACT

A portion of every phytosanitary application used in agriculture has the soil as a final destination. Regarding to herbicides, several factor can influence the dynamics of the product in the environment and availability for weed control. Dicamba is a herbicide used in pre-plant and post-emergence to control broadleaf weeds. Thus, the objective of this study was to evaluate the dynamics of dicamba applied to the soil and straw. The experiments were carried out in Botucatu – SP (clay soil), Santa Cruz das Palmeiras – SP (clay soil), Luís Eduardo Magalhães – BA (sandy soil) and in greenhouse. Four doses of the herbicide (120, 240, 480 e 720 g e.a.) were applied on the soil, on the soil and subsequent placement of the corn straw and on the straw, and controls with and without straw, in randomized blocks (field) and completely randomized design (greenhouse), with 4 replications each. Field applications were carried out with a CO<sub>2</sub> pressurized back sprayer, equipped with 6 flat jet nozzles (TTI 110 015). Soil were performed at a depth of 0-10 cm 1 day after application in all 3 cities and 6, 11 and 30 days after application in Botucatu (0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm), and 4, 15 and 30 DAA in Santa Cruz das Palmeiras and Luís Eduardo Magalhães (0-10 cm, 10-20 cm and 20-40 cm) that were taken tp chromatographic analysis at NUPAM - FCA/Unesp. The applications of greenhouse experiments were carried out in a spray simulator, equipped with 4 flat jet nozzles (TTI 110 015). In all experiments were carried out evaluations of weed control, and in Botucatu, Santa Cruz das Palmeiras and greenhouse experiments plant population density were evaluated. In the 3 locations studied, the dicamba concentrations found were higher in the treatments applied on the soil without the addition of straw. Botucatu presented the lowest concentrations of the herbicide, possibly due to the precipitation that occurred during the development of the experiment. Luís Eduardo Magalhães' soil presented the highest amounts of herbicide in all periods, a fact that may be related to less organic matter and consequently less degradation. Still, it presented higher concentrations in the superficial layers that can be explained by the low pluviometric concentration in that region during the experiment. Weed control showed low rates in Botucatu field experiment, followed by Santa Cruz das Palmeiras and Luís Eduardo Magalhães obtaining the best control rates, which is related to a greater amount of the herbicide molecule found in the soil. The control of weeds in the greenhouse was

efficient and present high levels of phytointoxication of soybean and cotton plants, mainly in the highest doses studied, in addition to a marked decrease in plant density with soybean being more sensitive than cotton. The population density of weeds were reduced in all experiments carried out.

**Key words:** Auxin mimics. Chromatography. Weed control. *Glycine max* (L.). *Gossypium hirsutum*.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>Interferência de plantas daninhas na cultura da soja .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2</b>	<b>Dinâmica de herbicidas no ambiente .....</b>	<b>21</b>
<b>2.3</b>	<b>Modo de ação e caracterização do herbicida dicamba .....</b>	<b>26</b>
<b>2.4</b>	<b>Controle de plantas daninhas com o herbicida dicamba .....</b>	<b>32</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>36</b>
<b>3.1</b>	<b>Experimentos a campo .....</b>	<b>36</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Avaliações e coletas realizadas nos experimentos .....</b>	<b>41</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Análises cromatográficas.....</b>	<b>43</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Determinação da porcentagem extraída e densidade aparente do solo ...</b>	<b>46</b>
<b>3.2</b>	<b>Experimentos em casa de vegetação .....</b>	<b>47</b>
<b>3.3</b>	<b>Análise estatística .....</b>	<b>48</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>50</b>
<b>4.1</b>	<b>Concentrações de dicamba no solo .....</b>	<b>50</b>
<b>4.2</b>	<b>Controle e densidade de plantas daninhas.....</b>	<b>60</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>78</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>79</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A produtividade das culturas é diretamente influenciada por diversos fatores bióticos e abióticos, como condições climáticas, manejo de solo e adubação, presença de pragas, doenças e plantas daninhas.

A interferência das plantas daninhas é um dos principais problemas para os sistemas agrícolas atuais, devido à sua rusticidade e eficiência no aproveitamento dos recursos disponíveis no ambiente, como água, luz, nutrientes e espaço, habilidade reprodutiva e facilidade de adaptação. Algumas espécies podem ainda produzir e liberar compostos aleloquímicos, prejudicando o crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas. Desta forma, torna-se fundamental a realização do manejo eficiente das plantas daninhas nas áreas de produção agrícola.

Dentre os métodos de controle utilizados, o controle químico caracteriza-se como a principal ferramenta para o manejo das plantas daninhas, devido à sua alta eficiência, fácil operacionalidade e menores custos. O herbicida dicamba é um herbicida sistêmico, recomendado para o controle em pós-emergência de plantas daninhas de folha larga e no pré-plantio das culturas da soja e algodão. A semeadura deve respeitar o intervalo de 30-60 e 15-20 dias após a aplicação para soja e algodão, respectivamente, pois apresentar certa persistência no solo, podendo ocasionar danos à cultura de interesse. O dicamba possui alta solubilidade em água, caráter ácido, baixo coeficiente de partição octanol-água e baixa pressão de vapor.

Independente da modalidade de aplicação, uma porção de qualquer produto químico aplicado irá atingir o solo. Uma vez que o produto se encontra no solo, diversos processos podem influenciar na sua dinâmica, como processos de retenção, adsorção e absorção; de transformação, seja ela química, física ou biológica; e de transporte, a partir da deriva, escoamento superficial, lixiviação e volatilização. Estes processos podem interagir entre si, além de serem influenciados pelas características do solo e de clima.

A dinâmica dos herbicidas no ambiente está diretamente relacionada as características do solo. Dentre as principais características do solo pode-se citar textura, mineralogia, pH e teor de matéria orgânica. Ainda, a cobertura do solo, em

sistemas de plantio direto, por exemplo, influencia diretamente na dinâmica de herbicidas, pois a palha atua como barreira física para os herbicidas aplicados em pré-emergência, necessitando a ocorrência de chuvas para o carregamento das moléculas até o solo. Estas características, juntamente com as características químico-físicas dos produtos podem afetar diretamente a dinâmica no ambiente.

Sendo assim, para que o controle de plantas daninhas seja de máxima eficiência, as condições em que o herbicida será aplicado devem ser levadas em consideração, para que ocorram menores perdas e o risco ambiental seja mínimo. Portanto, o conhecimento das características físico-químicas dos herbicidas, características biológicas, físicas e químicas do solo e os processos envolvidos na dinâmica dos herbicidas no ambiente é de fundamental importância. Com o desenvolvimento desse trabalho, objetivou-se avaliar a dinâmica do herbicida dicamba em solo e na palha, e o controle de plantas daninhas com aplicação em pré-emergência.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Interferência de plantas daninhas na cultura da soja

A cultura da soja é o grão mais produzido em todo o território nacional. Na última safra, 2019/2020 ocupou cerca de 58,6% de toda a área plantada, com produtividade média de 3379 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2020), sendo o Brasil responsável por 37,3% de toda a produção mundial de soja (USDA, 2020), representando grande importância socioeconômica, servindo como base para a alimentação humana e animal.

A produção nacional da soja na safra 2020/2021 está estimada em 133.692,3 mil toneladas, com área plantada de aproximadamente 38 milhões de hectares, representando um aumento de 7,1% na produção e 3,4% em área plantada em relação à safra 2019/2020 (CONAB, 2021).

Diversos fatores bióticos e abióticos podem interferir no desenvolvimento e produtividade da cultura da soja. Alguns deles são as condições climáticas, regime hídrico, manejo adequado do solo, adubação e correção do solo, época de semeadura, manejo e interferência de pragas, doenças e plantas daninhas.

Segundo Velini (1997), a interferência de plantas daninhas é definida como o conjunto de processos pelos quais as plantas daninhas têm a capacidade de interferir sobre uma determinada cultura. De acordo com o mesmo autor, o nível de interferência é dado pelo decréscimo de produção e crescimento da planta cultivada, que pode ocorrer devido a competição por água, luz, nutrientes, espaço e CO<sub>2</sub>, ou pela liberação de compostos alelopáticos pelas plantas daninhas e que causam algum dano à planta cultivada.

A interferência é dividida em três diferentes períodos. O período anterior à interferência (PAI), que é definido como o período desde a semeadura até o momento em que a planta cultivada consegue conviver com a planta infestante sem que esta reduza significativamente a produtividade; o período crítico de prevenção a interferência (PCPI) é denominado o período em que obrigatoriamente alguma medida de controle deve ser empregada; e o período total de prevenção a interferência (PTPI) que compreende o PCPI e o PAI, ou seja, é o período total em que a cultura deve crescer sem a interferência de invasoras para que não ocorram

prejuízos. Após este período, o controle é realizado pela própria cultura (PITELLI; DURIGAM, 1984).

O conhecimento a respeito dos períodos de interferência e o período crítico para o controle das plantas daninhas da cultura da soja determina a época preferencial de controle, para que se evitem perdas na produtividade, uma vez que é a época de maior sensibilidade da cultura. Segundo Agostinetto et al. (2015), os períodos de interferência podem variar de acordo com a cultivar escolhida, tipo de solo e clima, época de semeadura, cobertura do solo, dentre outros.

Diversos autores avaliaram os períodos de interferência de plantas daninhas na cultura soja. Spadotto et al. (1994), definiu o PCPI entre 21 e 31 dias após a emergência da cultura, enquanto Nepomuceno et al. (2007), definiu o PCPI para a cultivar CD 201 dos 33 aos 66 dias após a emergência no sistema de semeadura direta e dos 34 aos 76 DAE para a cultivar M-SOY-6101 no sistema de semeadura convencional. Desta maneira, evidencia-se os diferentes períodos de convivência variando com diversas características.

Perdas significativas na produtividade de soja podem ser observadas em diferentes densidades de infestações de capim-amargoso (*Digitaria insularis*). Em situações que não haviam plantas infestantes a produtividade chegou a 3392 kg ha<sup>-1</sup> (equivalente a 57 sacas de 60 kg), já na presença de 1 a 3 plantas de capim amargoso (plantas/m<sup>2</sup>) a produtividade alcançada foi de 2575 kg ha<sup>-1</sup>, 14 sacas a menos onde não haviam plantas infestantes e 26 sacas menos na densidade populacional de 4 a 8 plantas (GAZZIERO et al., 2012).

Penckowski (2012) avaliou a produtividade de soja com a tecnologia RR com infestação de milho involuntário e as produtividades médias obtidas foram de 4739 kg ha<sup>-1</sup> nas parcelas sem infestação, 3328 kg ha<sup>-1</sup> com 1 planta/m<sup>2</sup>, 2629 kg ha<sup>-1</sup> com 2 plantas/m<sup>2</sup> e 1689 kg ha<sup>-1</sup> com 4 plantas/m<sup>2</sup>, representando uma redução na produtividade média de 29,8%, 44,5% e 64,4% respectivamente.

Outro problema encontrado no cenário das plantas daninhas, são as plantas daninhas resistentes à herbicidas, que através do controle químico tornam-se de difícil controle e aumentam os custos de produção consideravelmente. São inúmeros os casos de resistência de plantas daninhas encontrados no Brasil, entre eles podemos citar as espécies *Lolium multiflorum*, *Digitaria insularis*, *Conyza* spp., *Bidens* spp., ente outras (INOUE; OLIVEIRA JR, 2011).

Os custos de produção médios para uma lavoura de soja com a presença de plantas daninhas sem resistência ficam em torno de R\$ 120,00, enquanto para lavouras com a presença de capim-amargoso resistente, por exemplo, fica na média de R\$ 318,35, podendo haver maior custo na presença de capim-amargoso e buva resistentes na mesma área, com custos de R\$ 386,65, considerando dessecação pré-semeadura e aplicação de herbicidas em pré ou pós-emergência da cultura da soja (ADEGAS et al., 2017).

Considerando os impactos causados pela infestação de plantas daninhas, sejam elas resistentes ou não, é de muita importância que seja realizado um manejo correto e eficiente para diminuir os danos e as perdas. Neste cenário, são diversos os métodos de controle que podem ser empregados, no entanto, o mais utilizado é o controle químico, pois tem boa eficiência e facilidade de aplicação.

## **2.2 Dinâmica de herbicidas no ambiente**

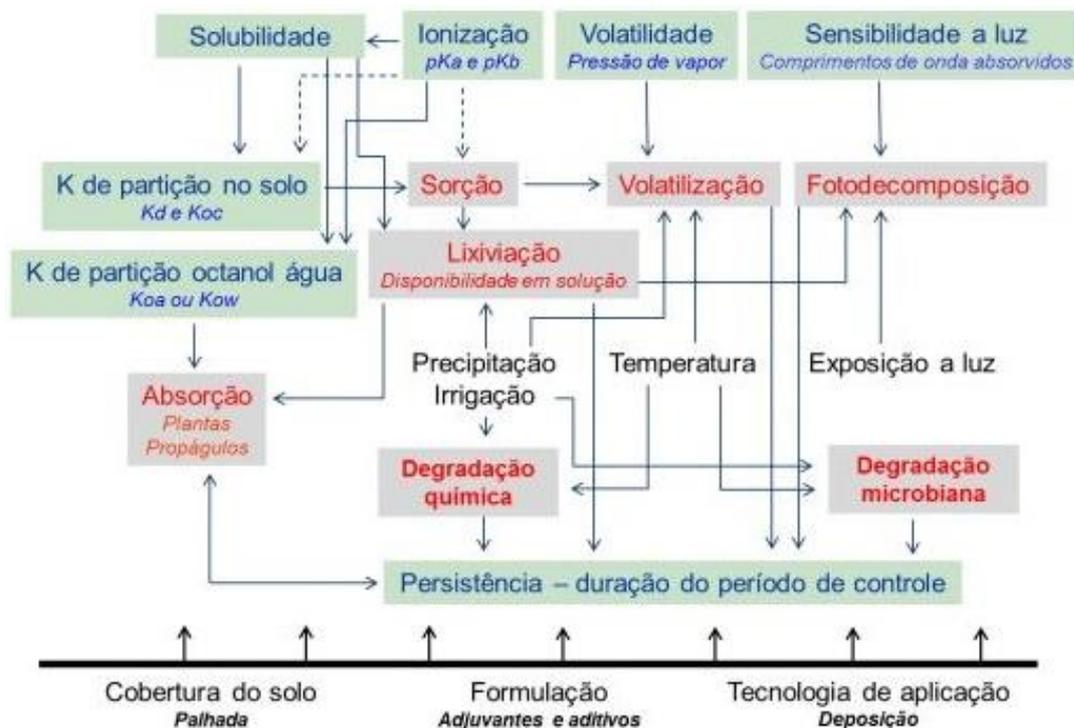
O objetivo da pulverização de produtos fitossanitários é atingir o alvo e no caso dos herbicidas, pode ser as plantas daninhas já emergidas, que são as aplicações em pós-emergência, ou quando as plantas daninhas ainda não emergiram, o alvo é o solo, que são as aplicações em pré-emergência. No entanto, independente da modalidade de aplicação, uma parte do produto aplicado irá atingir o solo, pois nas aplicações em pós-emergência, parte do produto fica retido nas plantas e parte chega até o solo (CORREIA, 2017).

O comportamento de herbicidas no ambiente é guiado por três processos: retenção, transformação e transporte. A retenção envolve os processos de absorção pelas plantas, adsorção aos coloides do solo e precipitação, e estes processos influenciam direta ou indiretamente os processos de transporte, como a deriva, escoamento superficial, lixiviação e volatilização e da transformação, como a degradação química, degradação biológica e fotodecomposição (CORREIA, 2018). Estes fatores se inter-relacionam e entendê-los é fundamental pois afetam a eficácia no controle de plantas daninhas, seletividade e o risco de contaminação (VELINI et al., 2015).

Os processos de retenção, transformação e transporte são influenciados pelas características físico-químicas dos produtos, das características biológicas, físicas e químicas do solo e das condições ambientais em que são pulverizados

(CARBONARI, 2017). As principais características físico-químicas dos herbicidas são: coeficiente de partição octanol-água ( $K_{ow}$ ), capacidade de dissociação eletrolítica ( $pK_a$ ), solubilidade ( $S$ ), pressão de vapores ( $PV$ ), constante da Lei de Henry ( $H$ ) e tempo de meia-vida ( $T_{1/2}$ ) (OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2011). A interação de todos os processos está ilustrada na Figura 1.

**Figura 1 - Esquema da dinâmica de herbicidas no ambiente**



Fonte: VELINI et al. (2015).

A solubilidade em água de um herbicida indica a capacidade que a molécula tem de se dissolver em água pura a uma determinada temperatura. Quanto mais polar a substância for, ou seja, possuir maior número de grupos hidrofílicos, maior será a sua afinidade pela água (MANCUSO; NEGRISOLI; PERIM, 2011). Esta característica está relacionada com a quantidade da molécula herbicida que poderá estar disponível na solução do solo e conseqüentemente ser absorvida pelas raízes e sementes (CARBONARI, 2017).

A pressão de vapor é definida como a pressão do estado de vapor de uma determinada molécula em equilíbrio com a fase líquida ou sólida, indicando a capacidade de um composto alterar seu estado físico da forma líquida ou sólida para a forma gasosa (SILVA; MONQUERO, 2013). A constante da Lei de Henry é

definida pela razão em que há divisão do volume de moléculas do herbicida, determinando a compatibilidade do composto para cada meio até o equilíbrio entre vapor e a fase de solução (CABRERA, 2008). Estas duas características determinam o grau de volatilização de um produto, portanto quanto maior a pressão de vapor e maior o valor de H da constante de Henry, maior será a chance de perda por vapor.

O coeficiente de partição octanol/água ( $K_{ow}$ ) determina a afinidade de uma molécula herbicida com a um composto polar (água) ou com um composto orgânico apolar (octanol). Desta forma, herbicidas que apresentam baixo valor de  $K_{ow}$  possuem maior afinidade com a água, sendo chamados de hidrofílicos, e herbicidas com alto valor de  $K_{ow}$  possuem maior afinidade com compostos orgânicos, portanto são considerados hidrofóbicos ou lipofílicos (REDDY; LOCKE, 1996). Normalmente, herbicidas que apresentam maior  $K_{ow}$  são menos solúveis e possuem maior afinidade pela fração orgânica do solo.

Os herbicidas podem ser classificados como não-iônicos, que independem do pH; e em iônicos, estes por sua vez, variam de acordo com o pH e são divididos em aniônicos e catiônicos (OLIVEIRA JR.; BACARIN, 2011). A constante de ionização ácido/base ( $pK_a/pK_b$ ) representa o valor de pH em que 50% das moléculas se encontrarão na forma ionizada e 50% na forma molecular. Então os herbicidas catiônicos (básicos) são capazes de receber prótons e os herbicidas aniônicos (ácidos) de doar prótons (CHRISTOFFOLETI et al., 2008). O  $pK_a$  irá alterar a capacidade de retenção dos herbicidas nos colóides orgânicos e minerais do solo, além da degradação e persistência. Ainda, o grau de dissociação determina a movimentação na planta, mobilidade e sorção no solo (CARBONARI, 2017).

O tempo de meia vida de um herbicida é o tempo necessário para que 50% de um determinado composto seja degradado, representando desta forma a persistência no solo (KARAM, 2005). Os herbicidas que apresentam um maior tempo de meia vida, permanecerão mais tempo no solo, portanto são os que apresentam um risco mais elevado para as culturas em sucessão.

A retenção de herbicidas no solo está relacionada com os processos de sorção e dessorção. O coeficiente de sorção ( $K_d$ ) indica a proporção dos herbicidas entre as fases sólida (adsorvente) e a fase líquida (solvente). O  $K_d$  fornece a concentração de uma molécula herbicida que estará adsorvida pelas partículas do

solo (argilas e matéria orgânica) e a concentração que estará disponível na solução do solo (OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2011). É calculado da seguinte forma:

$$K_d = X/C$$

onde  $X$  é a quantidade de herbicida adsorvido ( $\mu\text{g g}^{-1}$  solo) e  $C$  é a concentração de equilíbrio do herbicida em solução ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ ).

Por possuírem natureza orgânica e afinidade pela matéria orgânica do solo, os herbicidas possuem o coeficiente de sorção padronizado para carbono orgânico ( $K_{oc}$ ). Este tem sido um dos parâmetros mais utilizados para a determinar a sorção dos herbicidas à fração orgânica do solo (OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2011). É calculado a partir do  $K_d$ , da seguinte maneira:

$$K_{oc} = \frac{K_d \cdot 100}{\%CO}$$

Algumas características do solo como teor de matéria orgânica, pH (para herbicidas iônicos), teor de argila, superfície específica dos colóides e a capacidade de troca catiônica (CTC) dos minerais da fração argila são as principais características que influenciam na dinâmica de sorção dos herbicidas ao solo (OLIVEIRA; PRATES; SANS, 2005; OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2011). Além das características do solo, as características físico-químicas dos herbicidas exercem influência e devem ser levadas em consideração para recomendações.

Quando material orgânico é adicionado ao solo em que o herbicida foi aplicado, pode haver aumento da sorção do herbicida (PRATA; LAVORENTI, 2000). Em alguns casos, moléculas sorvidas passam para formas indisponíveis, chamadas de resíduo-ligado (CHRISTOFFOLETI et al., 2008). O termo resíduo-ligado refere-se às espécies químicas, como ingrediente ativo, metabolitos e fragmentos que são originados de pesticidas que se ligam em frações húmicas do solo, não sendo possível sua extração por métodos que não alterem significativamente a natureza da molécula (PRATA; LAVORENTI, 2000; OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2011).

A palha também pode influenciar na dinâmica de herbicidas no solo. A presença da palha forma uma barreira física, retendo o herbicida na superfície (MARBLE, 2015). A exposição da molécula do herbicida na superfície favorece sua fotodegradação e volatilização, uma vez que, na superfície encontram-se temperaturas mais elevadas e há maior exposição à radiação solar (CARBONARI, 2017; LOCKE; BRYSON, 1997). Nesse sentido, é necessário a ocorrência de

precipitação após aplicação para favorecer o carregamento do herbicida da palha para o solo (MACIEL; VELINI, 2005). A lixiviação do herbicida da palha para o solo depende da solubilidade, tipo da formulação do herbicida, quantidade de palha (ARALDI et al., 2015), volume de chuva após a aplicação e tempo de permanência na palha (CARBONARI, 2017).

As propriedades físico-químicas do herbicida, juntamente com os processos de retenção e características do solo alteram o transporte desses herbicidas no ambiente. A lixiviação é o processo de transporte no solo de moléculas herbicidas não voláteis e solúveis em água (MONQUERO et al., 2008). Caracteriza-se pelo movimento descendente dos herbicidas na matriz do solo, variando de intensidade dependendo das características físico-químicas do produto, solo ou clima (ANDRADE et al., 2011). Já o escoamento superficial, também chamado de *runoff* caracteriza-se pelo movimento do herbicida na superfície do solo, sendo carregado lateralmente por enxurradas e fortes chuvas (OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2011).

O processo de volatilização ocorre quando um elemento químico, neste caso o herbicida, passa de uma superfície seca ou molhada para a atmosfera (GEBLER; SPADOTTO, 2004). A deriva é todo o produto aplicado que não atinge o alvo (CHRISTOFOLETTI, 1999). As perdas de partículas ou gotículas acontecem no trajeto entre a barra de aplicação e o alvo, estas por sua vez, estão propensas à evaporação, condensação ou deposição em folhas de plantas sensíveis, causando injúrias indesejáveis, além de risco de contaminação (VELINI et al., 2015).

A transformação de moléculas herbicidas ocorre de forma química, biológica ou pela fotodegradação. Em ambos os casos, a degradação ocorre devido a uma série de processos biológicos, físicos e químicos que resultarão em uma forma não tóxica do herbicida ou até a sua completa mineralização, chegando a produtos finais como CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub> e íons inorgânicos (CORREIA, 2018).

A fotodegradação necessita de luz e ocorre devido a absorção de luz pelo herbicida, que resulta na excitação de seus elétrons e rompimentos de determinadas ligações de moléculas (OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2011). A degradação microbiana ocorre devido à ação catalítica de enzimas produzidas pelos microrganismos. Os microrganismos usam nutrientes e a energia proveniente das moléculas como substrato para sobrevivência (ANDRIGHETTI et al., 2014; CORREIA, 2018). A degradação química ocorre devido a diversas reações, como a oxidação, redução e hidrólise, podendo ser influenciada por temperaturas

elevadas, boa umidade e em alguns casos, valores extremos de pH (OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2011).

Considerando todos os aspectos envolvidos na dinâmica de herbicidas no ambiente, entender estes processos permite um maior sucesso nas aplicações, tanto em relação à eficiência no controle das plantas daninhas quanto aos aspectos ambientais, principalmente para os processos que ocorrem no solo.

### **2.3 Modo de ação e caracterização do herbicida dicamba**

O herbicida ácido 2-metóxi-3,6-diclorobenzoico, popularmente conhecido como dicamba (TAIZ et al., 2017) pertence ao mecanismo de ação dos mimetizadores de auxina, classificado como grupo O pelo HRAC – BR (2020) e/ou grupo 4 pela WSSA (2020), e ao grupo químico dos ácidos benzóicos. Estes herbicidas são amplamente utilizados para o controle de folhas largas em cereais (MITHILA et al., 2011). Os herbicidas pertencentes a este mecanismo de ação foram descobertos durante a Segunda Guerra Mundial e, em 1946, o herbicida 2,4-D foi lançado comercialmente como o primeiro herbicida verdadeiramente seletivo e eficaz em doses baixas (COBB; READE, 2010; SBANO et al., 2013).

As auxinas são naturalmente produzidas pelas plantas e tem funções fundamentais para o crescimento e desenvolvimento das plantas, atuando na divisão, crescimento e diferenciação celular, quebra da dominância apical, crescimento da gema axilar, desenvolvimento radicular, flores e frutos, abscisão foliar, entre outros (MERCIER, 2008). Se aplicadas de forma exógena, as auxinas podem inibir ou estimular o crescimento da planta, a depender da concentração aplicada e da sensibilidade do tecido da planta atingido (COBB; READE, 2010).

Estes herbicidas são análogos das auxinas naturais, portanto ligam-se aos meus receptores e as alterações celulares e morfológicas causadas dão aspecto de “overdose” de auxina (READE; COBB, 2002). A auxina aplicada se liga a proteína ABP1 (auxin binding protein 1) que sofre uma mudança conformacional, permitindo então a interação com as proteínas da membrana, hiperpolarizando a mesma. A partir de então, as respostas da expressão gênica ocorrem devido a ligação da auxina e TIR1 (transport inhibition response 1) (COBB; READE, 2010).

Grossamann (2010) divide a desregulação que ocorre após a aplicação de herbicidas auxínicos em 3 fases: estimulação, inibição do crescimento e

senescência. A primeira fase ocorre logo após a primeira hora da aplicação e é caracterizada pela ativação de processos metabólicos que induzirão a síntese de etileno através da ACC-sintase (1-aminociclopropano 1-ácido carboxílico sintase), além do acúmulo de ácido abscísico (ABA) primeiramente na parte aérea e posteriormente nas raízes. Estes processos acarretarão no crescimento anormal da planta (COBB; READE, 2010; GROSSMANN, 2010).

A fase de inibição do crescimento ocorre aproximadamente 24 horas após a aplicação devido ao fechamento estomático decorrente do acúmulo de ABA na fase I. Desta forma, há diminuição na assimilação do carbono, transpiração, formação de amido e devido a planta continuar exposta à luz, há formação de espécies reativas de oxigênio. Nesta fase, há inibição do crescimento das raízes e principalmente da parte aérea, além da diminuição dos internódios e intensificação da coloração verde (COBB; READE, 2010; GROSSMANN, 2010; BORELLA et al., 2019).

A terceira e última fase ocorre entre 7 e 10 dias após a aplicação dos herbicidas auxínicos. Nesta fase, mudanças na aparência das plantas se tornam ainda mais visíveis, com sintomas caracterizados pela formação de raízes adventícias nos nós e caules, inchaço geral do tecido principalmente no pecíolo que são desencadeados pela nova expressão gênica. Há ainda sintomas clássicos de epinastia do caule, pecíolo e folhas, além de crescimento apical anormal, que ocorrem em resposta a evolução do etileno. Observa-se também sintomas de murchamento, clorose e posterior necrose que evoluem para colapso do tecido e morte da planta, que ocorrem devido aos danos causados ao cloroplasto, destruição da integridade da membrana e do sistema vascular (COBB; READE, 2010; GROSSAMANN, 2010; MITHILA et al., 2011; EPP et al., 2016).

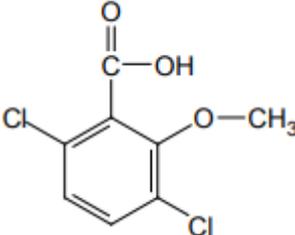
Recentemente, Gaines (2020) sugeriu um novo modelo do modo de ação dos herbicidas auxínicos. O autor sugere que a planta é levada a morte devido ao rápido aumento dos níveis de ABA que ocorre pela expressão de NCED (9-cis-epoxycarotenoid deoxygenase), que foi encontrado em maior concentração do que em plantas quase mortas devido à seca. Ainda, os níveis de ABA aumentaram sem que houvesse perda de turgor das células ou fechamento estomático. Há ainda a suposição de que o etileno pode não ser o principal elemento envolvido na morte das plantas, pois plantas tratadas com halauxifen-methyl não apresentaram aumento do hormônio, apenas as tratadas com dicamba e 2,4-D.

Um estudo realizado por McCauley e colaboradores (2020), demonstrou o efeito dos herbicidas auxínicos em alguns processos relacionados à fotossíntese. Os autores descrevem que a aplicação de herbicidas auxínicos não influencia diretamente no processo fotossintético, mas sim na diminuição de expressão de genes chaves que estão relacionados com a função dos fotossistemas, ciclo de Calvin, complexo receptor de luz, cadeia de transporte de elétrons e biossíntese de clorofila. No entanto, não ficou esclarecido, se a diminuição da expressão desses genes ocorre devido ao aumento da concentração de auxina ou a outros hormônios desencadeados em resposta a auxina.

Sendo assim, o mecanismo de ação dos herbicidas pertencentes aos mimetizadores de auxina, ainda não está bem elucidado e ainda precisa de alguns estudos para testar a essencialidade de NCED e concluir corretamente sobre o etileno ser fundamental para a morte da planta; e ainda testar os genes diminuídos relacionados a fotossíntese e que podem contribuir para a morte da planta (GAINES, 2020; McCAULEY et al., 2020).

Os herbicidas auxínicos apresentam algumas características comuns, como serem preferencialmente absorvidos pelas folhas e translocados via floema para o restante da planta, no entanto, pode haver absorção radicular e translocação via xilema. A aplicação no solo é bastante variável e depende da solubilidade do produto, da capacidade de adsorção aos colóides do solo, da matéria orgânica e da taxa de decomposição microbiana (ROMAN et al., 2005; CARVALHO, 2013), no entanto, estes herbicidas não persistem no solo por longos períodos, com exceção do picloram (OLIVEIRA JR, 2011). Características específicas do herbicida dicamba estão presentes na Tabela 1.

**Tabela 1 - Fórmula estrutural e propriedades físico-químicas do herbicida dicamba**

Propriedades	Dicamba
Fórmula estrutural	
Fórmula molecular	C <sub>8</sub> H <sub>6</sub> Cl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
IUPAC nomenclatura	3,6-dichloro-o-anisic acid
Grupo químico	Ácido Benzóico
Peso molecular (g mol <sup>-1</sup> )	221,03
Densidade (g mL <sup>-1</sup> a 25 °C)	1,35 - 1,55
Solubilidade em água a 20°C (mg L <sup>-1</sup> )	250000 (Alta)
Kow em pH 7,0 a 20 °C	1,32x10 <sup>-2</sup>
pKa a 25°C	1,87
Pressão de vapor a 20°C (mPa)	1,67 (baixa volatilidade)
DT50 solo (d)	4 (não-persistente)
Koc (mL g <sup>-1</sup> )	2,0
GUS	1,72
Índice de potencial de lixiviação	(baixa lixiviação)

**Fonte:** adaptado de Shaner (2014); PPDB (2021).

Os herbicidas auxínicos apresentam efeitos mesmo em dosagens muito baixas (OLIVEIRA JR, 2011), especialmente o dicamba, pois seu uso tem aumentado e diversas culturas apresentam elevada sensibilidade, como por exemplo a própria soja não resistente ao dicamba, feijão, pepino, beterraba, tomate,

algodão, amendoim (JOHNSON et al., 2012; AGUIAR et al., 2020). Portanto, deve-se haver cuidados quanto à tecnologia de aplicação para evitar problemas como deriva, condições ambientais e tempo de residual do herbicida no solo, pois as injúrias causadas podem ser irreversíveis.

As injúrias causadas ocorrem mesmo em níveis muito baixos. Estudos conduzidos em duas localidades na Carolina do Norte com subdoses de dicamba, demonstraram que a soja é mais sensível que o algodão ao dicamba, havendo diminuição de aproximadamente 50% da produtividade com a aplicação de  $11 \text{ g ha}^{-1}$  (1/32 da dose de  $280 \text{ g ha}^{-1}$ ), enquanto o algodão apresentou 50% de diminuição da produtividade com  $140 \text{ g ha}^{-1}$  (1/2 da dose de  $280 \text{ g ha}^{-1}$ ) (JOHNSON et al., 2012). Além de injúrias visuais e perdas na produtividade, danos na qualidade fisiológica de sementes de soja também foram observados em testes de germinação realizados em sementes de soja que receberam a simulação de deriva de  $28 \text{ g ha}^{-1}$ , diminuindo cerca de 15 e 42% com derivas simuladas nos estádios V4 e R2, respectivamente (COSTA et al., 2020).

As injúrias causadas pelas baixas dosagens de dicamba é uma preocupação com a adoção da soja com tecnologia Intacta2 Xtend<sup>®</sup>, que possibilita a aplicação em pós emergência da soja do herbicida dicamba, devido a introdução do gene demetilase (dmo). Este gene codifica a proteína dicamba monoxigenase (DMO) que catalisa a adição de oxigênio molecular ( $\text{O}_2$ ) ao grupo metil do dicamba, e desta forma o produto é transformado em substâncias com propriedades não herbicidas como ácido 3,6-diclorossalicílico (DCSA), formaldeído ( $\text{CH}_2\text{O}$ ) e água (CTNBio, 2018).

A venda desta tecnologia no Brasil está prevista para a safra 2021/2022, e a preocupação está relacionada com áreas próximas semeadas com soja convencional. Agricultores de Nebraska, nos Estados Unidos, reportaram que a tecnologia melhorou o controle de plantas daninhas de difícil controle e aumentou as possibilidades de uso de herbicidas, no entanto, injúrias causadas pelo movimento do herbicida para fora da área de aplicação (deriva) também foram reportadas e geraram perdas (WERLE et al., 2018). Algum sinal de injúria foi observado por Soltani et al. (2020) em até 250 m do local de aplicação, enquanto a deposição foi observada em até 134-140 m da área aplicada, aproximadamente.

Além da deriva, uma das formas do produto ser levado para outro lugar fora do local de aplicação, é a volatilização. O dicamba é pouco volátil (PPDB, 2020),

no entanto, há sempre a preocupação em desenvolver formulação de produtos que são menos voláteis, como é o caso do dicamba sal de DGA (diglycolamine) ser menos volátil com relação a antiga formulação de sal DMA (dimethylamine) (MUELLER; STECKEL, 2019). Outra opção é a utilização de redutores de volatilização como o VaporGrip® utilizado no estudo realizado em diferentes superfícies. Neste estudo, a adição do redutor de volatilização foi eficiente no vidro, na palha, em solo seco e solo úmido, mostrando-se como uma boa alternativa para evitar injúrias (CARBONARI et al., 2020).

A volatilização também pode ser influenciada pelas misturas que são feitas entre herbicidas, como ocorre com o dicamba e o glyphosate. MacInnes (2017) descrevem o dicamba como um ácido fraco e o estado molecular pode exercer influência sobre a volatilidade, pois formulações com pH mais ácido de dicamba são mais propensas a volatilização. Mueller e Steckel (2019) observaram que a adição de glyphosate deixou a calda com o pH mais alto, interferindo na volatilização, que teve maiores índices nos tratamentos que continham glyphosate.

Bish et al. (2019) avaliou a influência da mistura de tanque do herbicida glyphosate com o dicamba, indicando que as concentrações de dicamba encontradas no ar com a aplicação conjunta com glyphosate, foram superiores àquelas encontradas na aplicação individual do dicamba. O autor realizou ainda aplicações ao meio dia (condições instáveis) e a noite (condições estáveis), e verificou que durante o dia as gotas que ficam em suspensão são mais propensas a volatilização, enquanto à noite, as gotas em suspensão ficam mais favoráveis ao movimento horizontal (deriva), mas ambas as situações resultam em falta de dispersão vertical de gotas.

Tratando-se de tecnologia de aplicação para evitar deriva, por exemplo, outro aspecto a ser considerado são as pontas a serem utilizadas para pulverização, como por exemplo as pontas de jato plano com indução de ar são mais recomendadas para aplicações que exigem um maior controle de deriva, pois operam na faixa de pressão de 3 a 8 bar, possibilitando assim a geração de gotas mais grossas e conseqüentemente menos suscetíveis à deriva (RAETANO; MOTA, 2019).

Alves, Kruger e Cunha (2018) avaliou a deriva de dicamba utilizando pontas de jato plano com e sem indução de ar, além de diferentes preparos de calda, com a adição ou não de adjuvantes com potencial redutor de deriva. A adição de sulfato

de amônio e polímero resultaram na formação de gotas mais grossas, em todas as pontas utilizadas (XR, AIXR, TT e TTI), havendo redução no percentual de deriva. Porém, as pontas com indução de ar (AIXR e TTI) foram muito mais eficientes na redução de deriva, mesmo sem a utilização de redutores de deriva, com uma melhor eficiência do modelo TTI.

Outro fator a ser levado em consideração, é o residual que pode ser deixado em tanques de pulverização, pois a contaminação pode ocorrer mesmo após meses do uso do tanque (ROESLER et al., 2020). Ainda segundo os mesmos autores, se o tanque de pulverização não for lavado corretamente, o resíduo de herbicida deixado no tanque pode ser diluído novamente quando em contato com outros herbicidas, solventes ou adjuvantes.

Giovanelli et al. (2020) avaliaram a eficácia da tríplice lavagem de tanques que continham calda de dicamba + glyphosate. Os autores verificaram injúrias de 45% causadas pelo herbicida na cultura da soja quando pulverizadas com tanques que não receberam nenhum tipo de lavagem após o seu uso. Após uma lavagem com água ou uma lavagem com água e detergente, ainda foram observadas injúrias de 10%, no entanto, a dupla e tríplice lavagem foram eficientes na remoção dos resíduos dos herbicidas do tanque, e não causaram injúrias para a cultura.

Sendo assim, a utilização do herbicida dicamba requer diversos cuidados quanto a tecnologia de aplicação, pois é um herbicida não seletivo para culturas dicotiledôneas e as injúrias causadas podem ser irreversíveis e causarem perdas de produtividade. Portanto, a escolha correta de pontas de pulverização, pressão e velocidade de trabalho, condições climáticas adequadas, são elementos fundamentais para evitar prejuízos que possam ser causados devido ao mau uso da tecnologia de aplicação.

## **2.4 Controle de plantas daninhas com o herbicida dicamba**

Para o controle de plantas daninhas, há diversos métodos que podem ser utilizados, como controle físico, cultural, biológico, mecânico e químico (CONSTANTIN, 2011). Entre os métodos citados, devido a rapidez, praticidade, alto rendimento operacional e eficiência, destaca-se o controle químico, no entanto, os outros métodos são indispensáveis para aumentar os índices de eficiência e diminuir os riscos de resistência (CAVENAGHI; CARBONARI, 2019).

O herbicida glyphosate teve o seu uso alavancado a partir do plantio direto. Sua larga utilização ocorre devido a sua alta eficiência e custo relativamente baixo, sendo amplamente utilizado no manejo de dessecação. Após a introdução da tecnologia Roundup Ready®, foi possível a sua utilização no manejo de plantas daninhas na pós emergência da cultura da soja (VILLETTI et al., 2014). No entanto, a alta frequência de utilização sem a rotação do mecanismo de ação acarretou no surgimento de plantas daninhas resistentes.

No Brasil, são 51 casos de resistência de plantas daninhas, desses, 16 são de resistência ao glyphosate e 17 casos de resistência múltipla (HEAP, 2021). Casos de resistência, bem como casos de resistência múltipla aumentam o grau de complexidade do sistema. Desta forma, tem-se a necessidade de utilização de herbicidas com diferentes mecanismos de ação, além do desenvolvimento de tecnologias que permitam a aplicação de herbicidas após a emergência da cultura.

O dicamba é um herbicida não seletivo de ação pós-emergente, sistêmico que pode ser absorvido tanto pela parte aérea como pelas raízes das plantas daninhas (FERREIRA; LÓPEZ-OVEJERO. TRAVERS, 2016). Neste sentido, o herbicida dicamba é uma ótima alternativa para o controle de plantas daninhas. Uma população de *Conyza bonariensis* (buva) resistente ao glyphosate foi submetida a aplicações de 2,4-D e dicamba com e sem a adição de glyphosate (SOARES et al., 2012). Os autores observaram que apesar do mecanismo de ação do 2,4-D e dicamba ser o mesmo, a população apresentou respostas diferentes, com melhor controle com uso de dicamba. Além disso, observou-se que a combinação entre dicamba e glyphosate tornou a população de buva ainda mais suscetível ao herbicida auxínico.

O dicamba possui amplo espectro de ação, apresentando alta eficiência para diversas espécies de plantas daninhas. Rodrigues et al. (2018), avaliaram o controle de *Chenopodium album* L., *Abutilon theophrasti* Medik e *Kochia scoparia* (L.) Schrad., com a aplicação de dicamba aplicado de forma isolada e dicamba em mistura de tanque com glyphosate. O controle foi satisfatório com a utilização de dicamba de forma isolada, no entanto, melhores porcentagens de controle foram obtidas com a aplicação da mistura de glyphosate + dicamba, para ambas espécies.

O melhor controle de plantas daninhas com a mistura de dicamba e glyphosate tem sido relatada por diversos autores. Por exemplo, Osipe et al. (2017), avaliaram o controle de *Richardia brasiliensis*, *Commelina benghalensis*, *Conyza*

*bonariensis* e *Ipomoea nil*, que são espécies comumente problemáticas nas diversas regiões agrícolas do Brasil. Os autores realizaram a aplicação isolada de dicamba, 2,4-D e glyphosate e em mistura de 2,4-D+Glyphosate e dicamba+glyphosate, e observaram que os controles obtidos pelos auxínicos isolados foram satisfatórios, no entanto, apresentaram maiores níveis e rapidez de controle quando colocados em mistura com o glyphosate.

O efeito sinérgico de dicamba+glyphosate ou 2,4-D+glyphosate foi observado em diversos experimentos (TAKANO et al., 2013; OSIPE et al., 2017). Este efeito foi estudado por Flint e Barrett (1989), que verificaram que as combinações entre os herbicidas aumentaram a absorção dos herbicidas auxínicos, que gerou um maior controle. Outro aspecto relatado pelos autores, é um maior acúmulo destes herbicidas na região das raízes, o que pode ter contribuído para um melhor controle.

O dicamba é uma excelente alternativa para o manejo de dessecação antecedendo a cultura da soja. O herbicida pode apresentar efeito pré-emergente, pois apresenta certa atividade no solo. Byker et al. (2013), avaliaram o controle de *Conyza canadensis* com a aplicação em pré-emergência de dicamba+glyphosate e observaram controle de até 75% da população de plantas em duas semanas após a aplicação. Os resultados de controle foram ainda mais significativos com uma aplicação sequencial dos mesmos herbicidas, chegando a níveis de até 100% de controle.

Outro estudo realizado em diversas regiões dos Estados Unidos com a utilização do dicamba em pré-emergência observou controle satisfatório para o controle de *Chenopodium album* L. e *Conyza* spp., chegando a níveis de controle de 98% e maiores que 90%, respectivamente (JOHNSON et al., 2010). Sendo assim, além de apresentar ótimo controle em pós-emergência de plantas daninhas, o efeito residual do dicamba pode contribuir para o controle das espécies presentes no banco de sementes.

No entanto, para utilização do dicamba no manejo de dessecação antecedendo a cultura da soja, é preciso observar o intervalo de segurança para a semeadura de soja convencional, que é de 30-60 dias de acordo com a bula do fabricante (BASF, 2018), pois o efeito residual do herbicida pode causar injúrias não desejáveis e prejudicar o desenvolvimento da cultura. Um estudo realizado objetivando avaliar o intervalo de segurança de dicamba verificou que a aplicação

deve ser realizada aproximadamente 16 dias antes da semeadura em solo argiloso com precipitação de 147 mm e 17 dias em solo arenoso com precipitação de 113 mm, na dose de 670 g e. a. ha<sup>-1</sup> (OSIPE, 2015).

Desta forma, o dicamba é uma ótima alternativa para o controle de plantas daninhas em pós-emergência das plantas daninhas, respeitando-se o intervalo de segurança recomendado pela fabricante para a semeadura da soja convencional. Com a previsão de disponibilidade da tecnologia Intacta2 Xtend® para a safra 2021/2022, o manejo em pós-emergência da cultura da soja tem mais uma ferramenta eficiente que pode ser utilizada no manejo de plantas daninhas.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Experimentos a campo

Os experimentos de campo foram conduzidos nos municípios de Botucatu – SP na Fazenda Experimental Lageado (22°50'3.2"S 48°25'30.504"W), Santa Cruz das Palmeiras – SP (21°49'7.68"S 47°16'4.854"W) e Luís Eduardo Magalhães – BA (12°07'28"S 46°01'54"W), nas estações experimentais da Bayer Crop Science. As características físicas e químicas do solo de cada local estão apresentadas nas Tabelas 2, 3 e 4.

**Tabela 2 - Características físico-químicas das amostras de solo de 0-10, 10-20 e 20-40 cm da área experimental de Botucatu - SP**

Prof. (cm)	Areia	Argila	Silte	Textura	pH CaCl <sub>2</sub>	M.O. g dm <sup>-3</sup>	P <sub>resina</sub> mg dm <sup>-3</sup>
	g Kg <sup>-1</sup>						
0-10	399	438	165	Argilosa	5,6	33	67
10-20	349	499	152	Argilosa	5,1	26	30
20-40	341	481	178	Argilosa	4,4	26	8
Prof. (cm)	Al <sup>3+</sup>	H+Al <sup>3+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SB	CTC
	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						
0-10	0	22	4,43	62	26	92	114
10-20	0	37	2,32	54	20	76	113
20-40	6	56	0,90	28	13	42	103
Prof. (cm)	V %	S mg dm <sup>-3</sup>	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg dm <sup>-3</sup>						
0-10	81	8	0,30	2,8	8	4,2	1,7
10-20	67	8	0,47	2,0	9	2,4	0,5
20-40	40	22	0,32	3,1	13	2,6	0,1

M.O. = matéria orgânica; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca catiônica; V = saturação de bases (%); S = soma de bases.

**Tabela 3 - Características físico-químicas das amostras de solo de 0-10, 10-20 e 20-40 cm da área experimental de Santa Cruz das Palmeiras - SP**

Prof. (cm)	Areia	Argila	Silte	Textura	pH	M.O.	P <sub>resina</sub>
	g Kg <sup>-1</sup>				CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>
0-10	249	570	181	Argilosa	5,4	32	59
10-20	244	582	175	Argilosa	5,4	32	73
20-40	234	607	158	Argilosa	4,8	23	14
Prof. (cm)	Al <sup>3+</sup>	H+Al <sup>3+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SB	CTC
	mmolc dm <sup>-3</sup>						
0-10	0	26	5,80	34	19	58	84
10-20	0	26	5,21	35	19	59	85
20-40	1	30	3,18	17	10	30	59
Prof. (cm)	V	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	%	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>				
0-10	69	8	0,42	1,9	7	5,0	1,3
10-20	70	5	0,32	2,0	8	6,2	1,4
20-40	50	35	0,20	1,3	5	2,8	0,4

M.O. = matéria orgânica; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca catiônica; V = saturação de bases (%); S = soma de bases.

**Tabela 4 - Características físico-químicas das amostras de solo de 0-10, 10-20 e 20-40 cm da área experimental de Luís Eduardo Magalhães - BA**

Prof. (cm)	Areia	Argila	Silte	Textura	pH	M.O.	P <sub>resina</sub>
	g Kg <sup>-1</sup>				CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>
0-10	906	89	4	Arenosa	5,7	12	34
10-20	898	100	4	Arenosa	5,4	8	40
20-40	865	132	5	Arenosa	4,9	5	23
Prof. (cm)	Al <sup>3+</sup>	H+Al <sup>3+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SB	CTC
	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						
0-10	0	10	1,75	16	8	25	35
10-20	0	11	1,71	14	7	22	32
20-40	3	13	2,39	7	2	12	25
Prof. (cm)	V	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	%	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>				
0-10	71	1	0,07	0,3	9	1,4	0,8
10-20	68	1	0,05	0,4	10	1,2	0,7
20-40	48	1	0,17	0,2	7	0,2	0,4

M.O. = matéria orgânica; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca catiônica; V = saturação de bases (%); S = soma de bases.

Os experimentos foram realizados no delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial (4x3), sendo 4 doses do herbicida dicamba (Atectra®, 480 g e.a. L<sup>-1</sup>, BASF S. A.), nas doses de 120, 240, 480 e 720 g e.a., com 3 manejos de aplicação: sobre o solo, sobre a palha de milho (4 t ha<sup>-1</sup>), e sobre o solo com posterior adição da palha de milho (4 t ha<sup>-1</sup>), com manutenção de duas testemunhas, uma com e outra sem palha, todos com 4 repetições, sendo avaliadas a dinâmica do herbicida e a eficácia de controle e densidade de plantas de *Bidens pilosa*, *Euphorbia heterophylla* e *Ipomoea nil*.

Para tal, uma área de 1232 m<sup>2</sup> em cada local de realização dos experimentos foi dividida em 4 blocos, espaçados em 1 m, e cada bloco em 14 parcelas, de 2 m de largura X 8 metros de comprimento, nas quais foram semeadas as plantas daninhas *Bidens pilosa* (5 g), *Euphorbia heterophylla* (10 g) e *Ipomoea nil* (10 g). Para as avaliações, as parcelas foram divididas ao meio, sendo a primeira porção

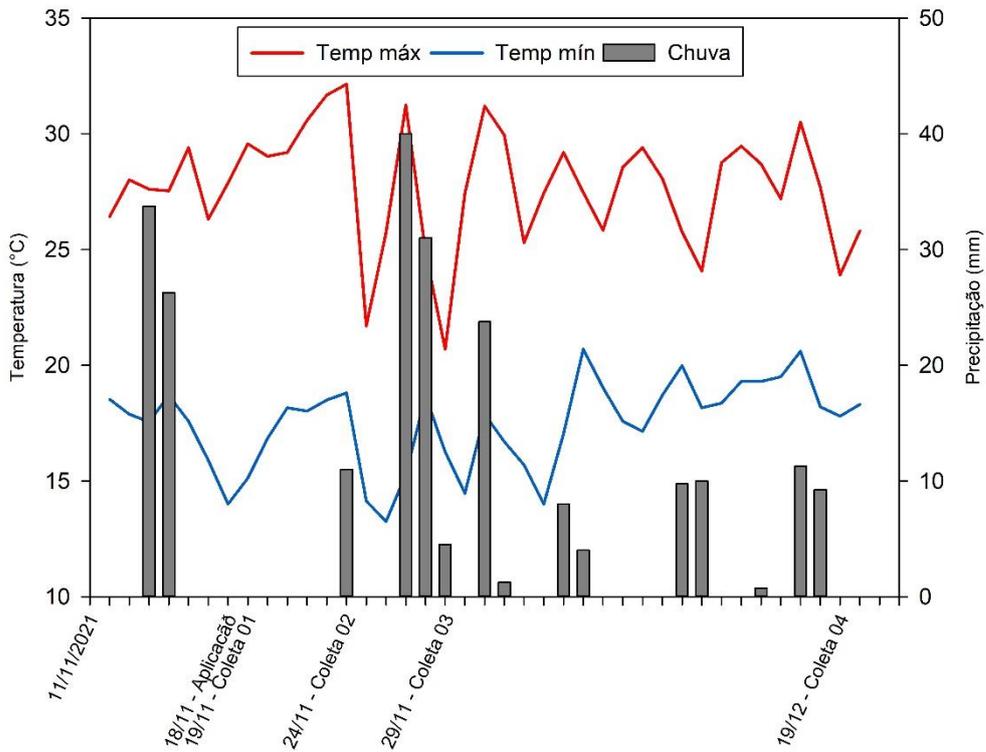
utilizada nas avaliações de controle de plantas daninhas e a segunda porção para as coletas de solo.

A aplicação dos experimentos ocorreu logo após a semeadura das plantas daninhas, utilizando um pulverizador costal propelido a CO<sub>2</sub>, com pressão de trabalho de 1,6 bar, equipado com uma barra composta por 6 pontas de jato plano da série Teejet TTI 110.015, com espaçamento de 0,5 m entre pontas, e operado a 0,5 metros de altura das parcelas, com velocidade de 1 m s<sup>-1</sup>, e volume de calda de 150 L ha<sup>-1</sup> (Figura 5). As condições meteorológicas dos momentos das aplicações estão descritas na Tabela 5, e os dados meteorológicos durante a condução dos experimentos estão representados nas Figuras 2, 3 e 4.

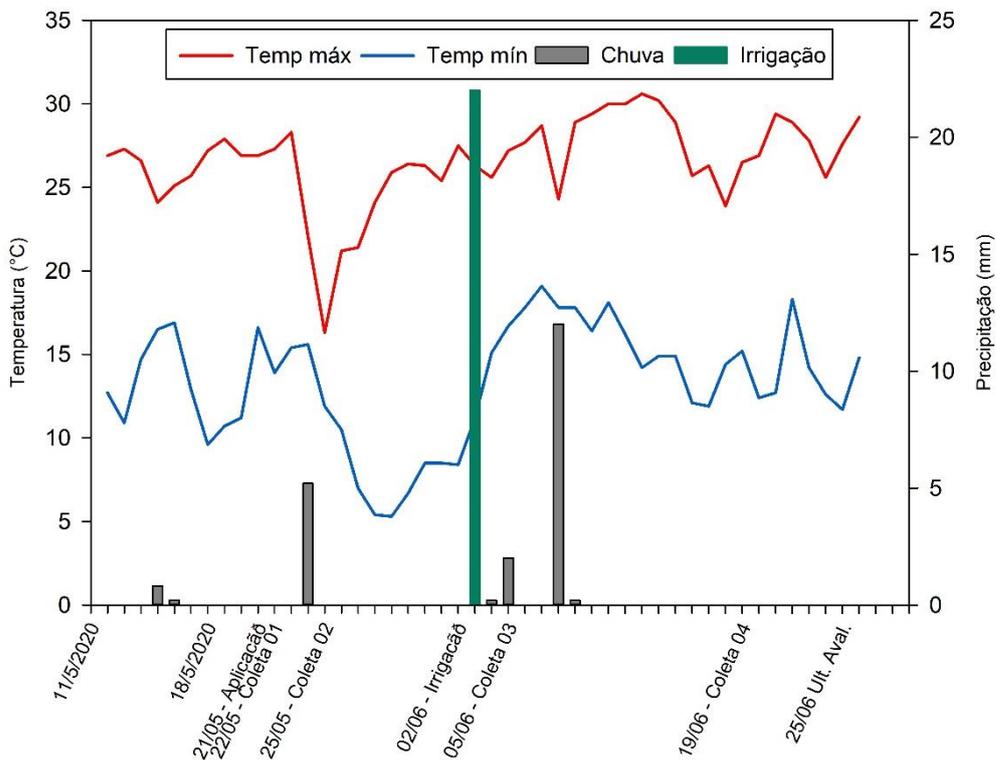
**Tabela 5 - Condições climáticas no momento da aplicação**

	T média (°C)	UR (%)	Vento (km/h)	Data da aplicação	Início (hora)	Fim (hora)
Botucatu	30,1	48,8	5,65	18/11/2019	08:53	11:10
Santa Cruz das Palmeiras	21,0	69,0	9,5	21/05/2020	8:30	9:25
Luís Eduardo Magalhães	28,8	51,6	5,7	12/05/2020	15:17	15:57

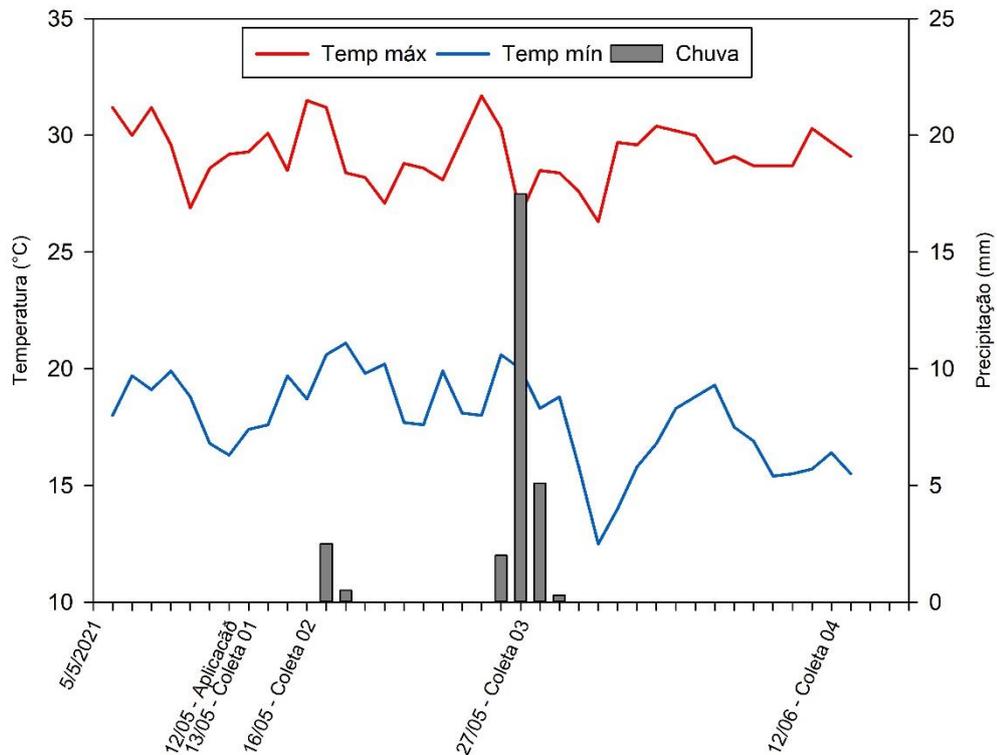
**Figura 2 - Dados meteorológicos durante a condução do experimento em Botucatu**



**Figura 3 - Dados meteorológicos durante a condução do experimento em Santa Cruz das Palmeiras**



**Figura 4 - Dados meteorológicos durante a condução do experimento em Luís Eduardo Magalhães**



**Figura 5 - A) Semeadura e incorporação das sementes de plantas daninhas. B) Distribuição da palha. C) Aplicação dos tratamentos na área experimental da Fazenda Lageado em Botucatu – SP**



### 3.1.1 Avaliações e coletas realizadas nos experimentos

Para as análises de dinâmica do herbicida dicamba foram realizadas coletas de solo em 15 pontos por parcela aos 1, 6, 11 e 30 dias após a aplicação (DAA) em Botucatu (Figura 6) e aos 1, 4, 15 e 30 (DAA) em Santa Cruz das Palmeiras e Luís Eduardo Magalhães, nas profundidades de 0-10 cm na primeira coleta e 0-10, 10-20 e 20-40 cm nas demais coletas (Tabela 6), com o auxílio de um trado tipo sonda com 3 cm de diâmetro. Após a coleta, as amostras foram homogêneas e

armazenadas em sacos plásticos e acondicionadas em freezer (-15 °C) para posterior realização de análises.

Para as avaliações visuais de controle, aos 14, 21 e 28 DAA, foram atribuídas notas visuais em uma escala de 0 a 100%, em que 0 significa nenhum controle e 100, plantas totalmente controladas, conforme sugerido pela Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (1995).

Para a avaliação de densidade de plantas daninhas, realizada ao final da condução dos experimentos, naqueles implantados em Botucatu e Santa Cruz das Palmeiras, foi utilizado um quadrado inventário de 0,5x0,5 m, lançado aleatoriamente 2 vezes por parcela, sendo identificadas e contadas o número de plantas de cada espécie.

**Tabela 6 - Data, intervalo, profundidade e doses coletadas nos experimentos**

	Data das coletas	Intervalo de tempo das coletas (DAA)	Profundidade coletada (cm)	Dose coletada (g e. a.)
Botucatu	19/11/2019	1	0-10	Todas
	24/11/2019	6	0-10; 10-20; 20-40	480
	29/11/2019	11	0-10; 10-20; 20-40	480
	19/12/2019	30	0-10; 10-20; 20-40	480
Santa Cruz das Palmeiras	22/05/2020	1	0-10	Todas
	25/05/2020	4	0-10; 10-20; 20-40	480
	05/06/2020	15	0-10; 10-20; 20-40	480
	19/06/2020	30	0-10; 10-20; 20-40	480
Luís Eduardo Magalhães	13/05/2020	1	0-10	Todas
	16/05/2020	4	0-10; 10-20; 20-40	480
	27/05/2020	15	0-10; 10-20; 20-40	480
	12/06/2020	30	0-10; 10-20; 20-40	480

Obs: DAA (dias após a aplicação); g e. a. (gramas de equivalente ácido).

**Figura 6 - A) Coleta de solo. B) Amostras de solo preparadas para armazenamento. C) Levantamento de plantas daninhas**

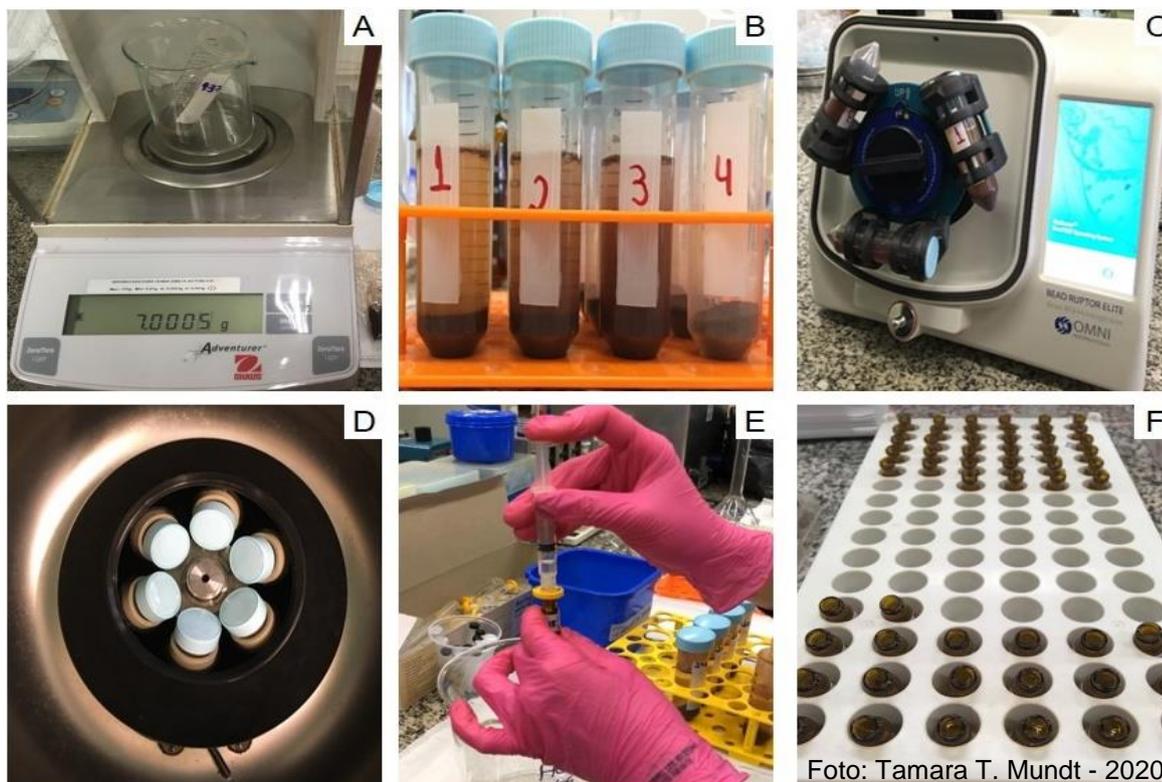


### 3.1.2 Análises cromatográficas

As extrações e análises do herbicida dicamba das amostras de solo coletadas foram realizadas no Laboratório do Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia (NUPAM), pertencente ao Departamento de Proteção Vegetal da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, *campus* de Botucatu - SP.

Para determinação dos teores de dicamba, 7 g de solo de cada profundidade das parcelas foram pesadas em tubos falcon de 50 mL. Logo após, foram adicionadas 30 mL de água deionizada, 1 mL da solução de  $\text{CaCl}_2$  (3,1 %) e 15 esferas de cerâmica de 2,8 mm de diâmetro e aproximadamente 0,09324 g cada. Os tubos foram acoplados ao preparador de amostras (Bread Ruptor Elite, Omni Internacional), que permite a homogeneização das amostras, durante 1 ciclo de 1 minuto a  $4 \text{ m s}^{-1}$ , e em seguida centrifugados a 5000 rpm por 5 minutos. O sobrenadante (2 mL) foi filtrado em membrana porosa (PVDF de  $0,45 \mu\text{m}$  e 13,0 mm de diâmetro), e acondicionado em frascos tipo âmbar (vials) para realização das análises cromatográficas (Figura 7).

**Figura 7 - A) Peso do solo. B) Adição de água e CaCl<sub>2</sub>. C) Homogeneizador. D) Centrifuga. E) Filtragem. G) Armazenagem em vials para leitura**



A determinação das concentrações do herbicida na solução extraída do solo foi realizada por cromatografia líquida de alta eficiência e espectrometria de massas, por um sistema LC-MS/MS, composto por um cromatógrafo líquido de alta eficiência (Prominence UFLC, AB SCIEX), acoplado a um espectrômetro de massas (TRIPLE QUAD 4500) híbrido triplo quadruplo (Figura 8).

**Figura 8 - Cromatógrafo líquido (Prominence UFLC), acoplado ao espectrômetro de massas (TRIPLE QUAD 4500)**



O tempo total da corrida cromatográfica para o dicamba foi de 15 minutos, com retenção na coluna cromatográfica de 5,50 minutos, sendo as condições cromatográficas apresentadas na Tabela 7. A curva analítica e o coeficiente de determinação do dicamba está representada na Tabela 8. A massa molecular e fragmentos do herbicida está relacionada na Tabela 9.

**Tabela 7 - Condições cromatográficas utilizadas para a quantificação dos compostos**

Coluna Analítica	Kinetex 2,6µM Phenyl-Hexyl (100x,21mm)
Volume de injeção	20µl
Fase móvel (pH 7,0)	Água com 0,1% ácido acético (fase A), metanol com 0,1% ácido acético (fase B)
Gradiente	Inicial 75% fase A e 25% fase B 2 min = 25% fase B 4 min = 95% fase B 8 min = 95% fase B 10 min = 25% fase B 15 min = stop
Fluxo	0,3 ml min <sup>-1</sup>
Temperatura do forno	40°C

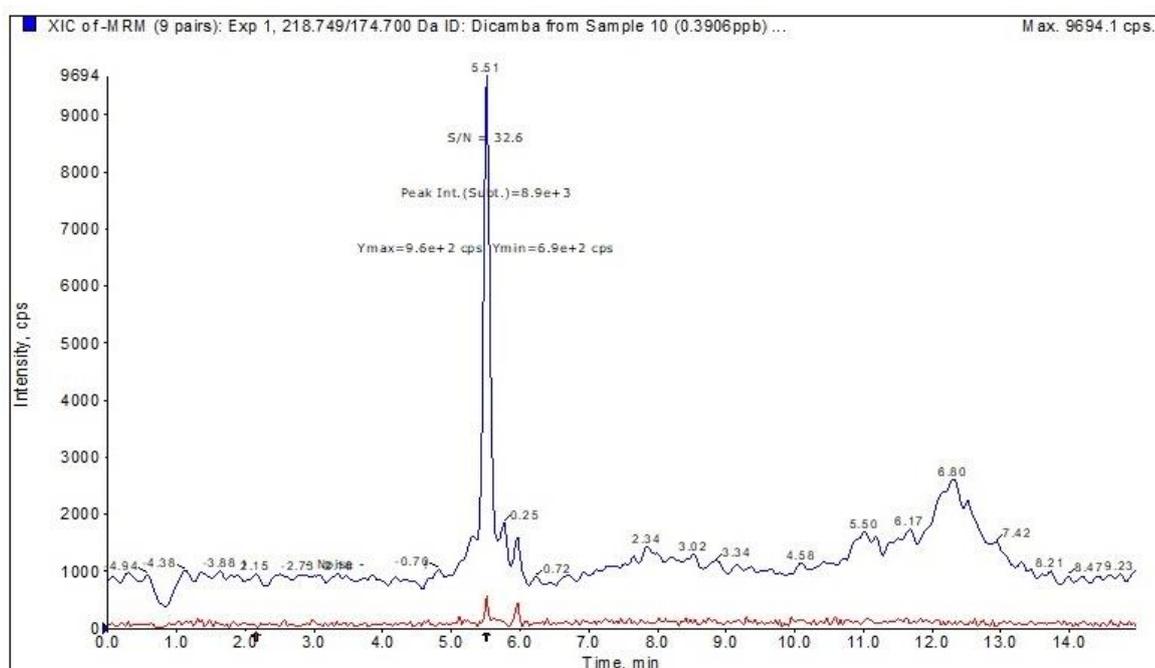
**Tabela 8 - Curvas analíticas do herbicida e seus respectivos coeficientes de determinação**

Herbicida	Curva analítica	Coeficiente de determinação (R <sup>2</sup> )
Dicamba	$y = 1,17^5x + 6,23^3$	0,9982

**Tabela 9 - Massa molecular e fragmentos do herbicida e metabólitos analisados**

Composto	Massa molecular	Fragmento
Dicamba	218,749	174,700
		144,700
DGA	106,093	88,000
3,6 dicloro salicilato	204,899	160,800
		160,300
		124,800

**Figura 9 - Cromatograma do herbicida dicamba**



### 3.1.3 Determinação da porcentagem extraída e densidade aparente do solo

Para determinar a eficiência do método de extração, foram realizados ciclos de extração, para verificação da porcentagem inicial extraída. Para tal, o mesmo método de extração do item 3.1.2 foi realizado, no entanto, o mesmo procedimento foi realizado 5 vezes na mesma amostra para cada tipo de solo. Após as extrações, os resultados foram calculados em porcentagem, sendo que para Botucatu a eficiência de extração foi de 86,22% e 87,14 e 86,68% para Santa Cruz das Palmeiras e Luís Eduardo Magalhães, respectivamente.

Para a densidade aparente do solo foram pesadas 4 amostras de 25 mL para cada localidade. Para o cálculo de densidade aparente do solo, foi usada a seguinte fórmula:

$$D = \frac{m}{v}$$

Em que,  $m$  é a massa de solo expressa em gramas e  $v$  é o volume expresso em mL. A densidade aparente do solo em Botucatu foi de 1,05 g mL<sup>-1</sup> e 1,02 e 1,36 em Santa Cruz das Palmeiras e Luís Eduardo Magalhães, respectivamente.

### 3.2 Experimentos em casa de vegetação

Foram realizados dois experimentos em casa de vegetação no Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia (NUPAM), pertencente ao Departamento de Proteção Vegetal da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

Os experimentos foram realizados em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial (4X3), com o herbicida dicamba, utilizando as mesmas doses descritas no experimento anterior, assim como os manejos de palha empregados, com 4 repetições, sendo avaliado o controle de plantas daninhas de *Bidens pilosa*, *Euphorbia heterophylla* e *Ipomoea nil*.

As unidades experimentais corresponderam a bandejas de 7,5 L preenchidas com 5 L de solo coletado na camada superficial de 0-10 cm na área em que foi realizado o experimento de campo de Botucatu. No primeiro experimento, semeou-se as seguintes espécies de plantas daninhas: *Bidens pilosa* (0,250 g), *Euphorbia heterophylla* (1,000 g) e *Ipomoea nil* (1,000). No segundo experimento foram semeadas 14 sementes de soja (*Glycine max* (L.)) e 14 sementes de algodão (*Gossypium hirsutum* L.), dispostas a 5 cm de distância entre elas.

Para a aplicação dos experimentos utilizou-se um simulador de pulverização com controle da velocidade e pressão de trabalho, constituído por uma barra de pulverização com 2 metros de largura, com 4 pontas Teejet TTI 110.015 espaçadas em 0,5 m e posicionadas a 0,5 m de altura em relação à superfície das unidades experimentais. O sistema foi operado com velocidade de deslocamento de 3,6 km

$\text{h}^{-1}$ , com volume de calda de  $150 \text{ L ha}^{-1}$  e pressão constante de  $1,93 \text{ bar}$ , pressurizado por ar comprimido (Figura 10).

A cada 10 dias foram realizadas simulação de lâminas de  $10 \text{ mm}$  de chuva, no mesmo simulador descrito, no entanto com uma segunda barra acoplada, constituída por 8 pontas de pulverização TK-SS-20 de alta vazão, com  $0,05 \text{ m}$  de espaçamento, mantida a  $1,4 \text{ m}$  de altura da superfície das unidades experimentais e operada para produção da lâmina de chuva desejada.

Foram realizadas avaliações de controle de plantas daninhas e fitointoxicação de soja e algodão aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação. Ao final do experimento, as plantas foram contadas para determinação da densidade populacional.

**Figura 10 - A) Aplicação dos tratamentos. B) Distribuição da palha após aplicação. C) Simulação de chuva**



### 3.3 Análise estatística

Para cada amostra de solo, o peso foi corrigido de acordo com a umidade. Os dados referentes à extração total do herbicida obtidos nas análises cromatográficas, foram convertidos para  $\text{ng g}^{-1}$  de solo. Para as concentrações de dicamba no solo e para a densidade de plantas foram calculados os intervalos de confiança (+/- intervalo de confiança), a partir da fórmula:

$$IC = \text{média} \pm \frac{(t * DV)}{\sqrt{n}}$$

onde,  $t$  é valor de  $t$  tabelado com nível de significância de  $5\%$ ,  $DV$  é o desvio padrão da amostra, e  $n$  é o número de repetições dentro de cada tratamento.

Os dados referentes às avaliações de controle (campo e casa de vegetação) foram submetidos à análise de variância (teste  $F$ ,  $p \leq 0,05$ ), e sendo significativa, suas médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). As análises

estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa estatístico AgroEstat, e os gráficos foram elaborados no Sigmaplot.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

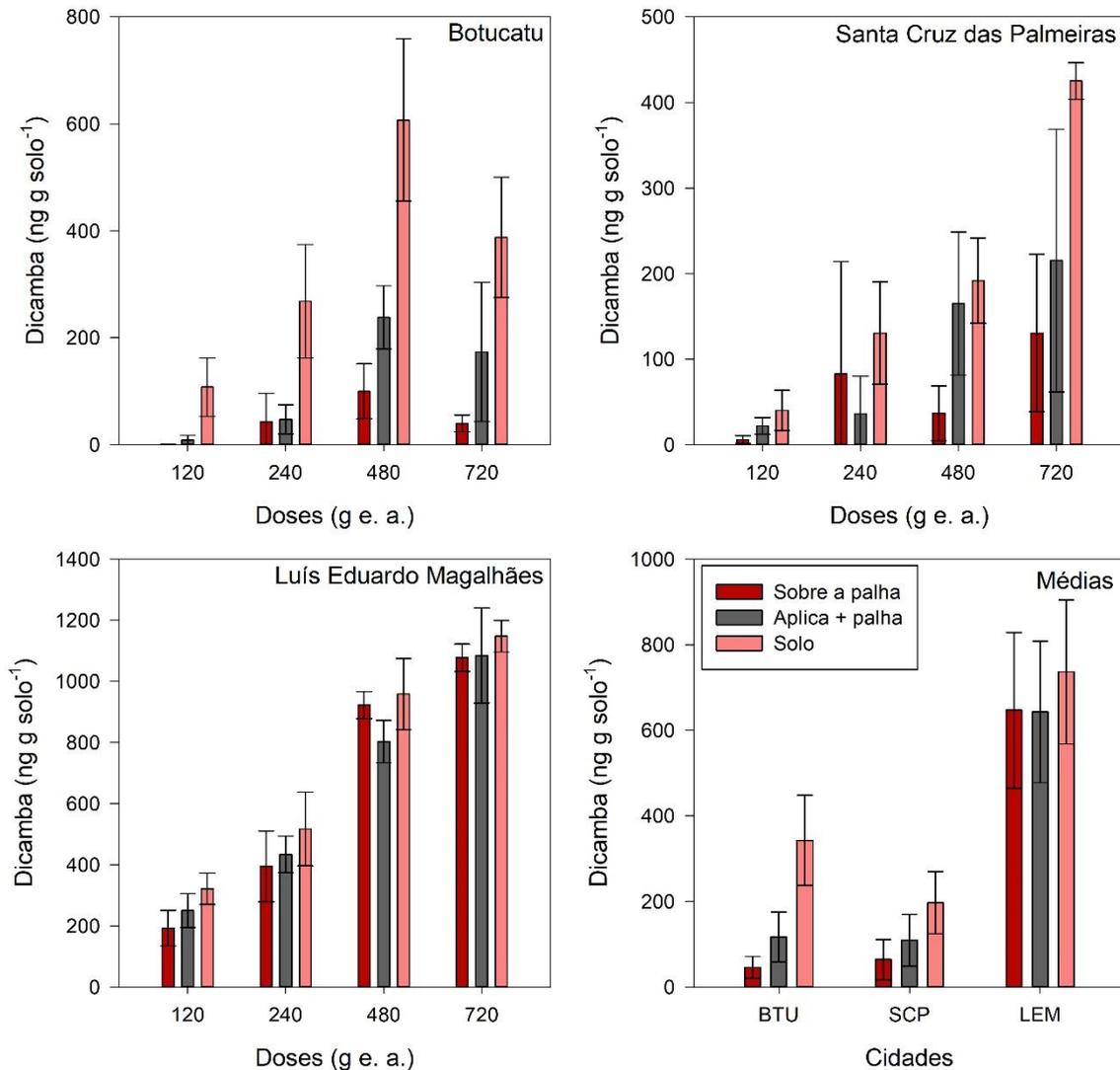
### 4.1 Concentrações de dicamba no solo

Com os resultados obtidos nas análises cromatográficas de concentração do dicamba no solo 1DAA após a aplicação observou-se diferença nas concentrações encontradas em cada tratamento, que se deve ao fato das diferentes doses do herbicida aplicado. Em Botucatu e Santa Cruz das Palmeiras, as concentrações dos herbicidas nos tratamentos em que a palha foi distribuída após a aplicação (Figura 11), foram menores, em comparação aos tratamentos que permaneceram sem palha, demonstrando que a presença da palha pode exercer influência sobre o herbicida, possivelmente pelo incremento de matéria orgânica.

A quantificação do herbicida no solo arenoso (Luís Eduardo Magalhães) no tratamento que permaneceu sem palha foi 2,14 e 3,74 vezes maior do que a concentração encontrada no mesmo tratamento em Botucatu e Santa Cruz das Palmeiras, respectivamente. De maneira geral, os resultados encontrados em Luís Eduardo Magalhães apresentaram concentrações mais elevadas do herbicida, com relação a Santa Cruz das Palmeiras e Botucatu, possivelmente pelas diferenças texturais apresentadas, pois o solo de Luís Eduardo Magalhães caracteriza-se como arenoso e Santa Cruz das Palmeiras e Botucatu, como argilosos. Solos argilosos normalmente possuem maior teor de matéria orgânica, como observamos nas tabelas 2 (Botucatu) e 3 (Santa Cruz das Palmeiras), em que os respectivos solos apresentaram o dobro de matéria orgânica do que o observado em Luís Eduardo Magalhães, sugerindo-se então, uma maior atividade dos microrganismos do solo e conseqüentemente, maior degradação.

Nos tratamentos que continham palha, a quantidade de herbicida encontrada foi 14,11 e 10,08 vezes menor em Botucatu e Santa Cruz das Palmeiras, respectivamente, com relação a quantidade encontrada em Luís Eduardo Magalhães. Ainda é possível observar que as aplicações realizadas diretamente no solo proporcionaram uma maior concentração do herbicida na camada superficial de 0-10cm. Estes resultados se devem ao fato de a palha exercer uma barreira física, impedindo assim que a molécula herbicida chegue até o solo, necessitando de certo volume de água para que ocorra o carregamento do herbicida da palha até o solo.

**Figura 11 - Concentração de dicamba no solo em ng g de solo<sup>-1</sup> 1 DAA**



BTU= Botucatu; SCP= Santa Cruz das Palmeiras; LEM= Luis Eduardo Magalhães.

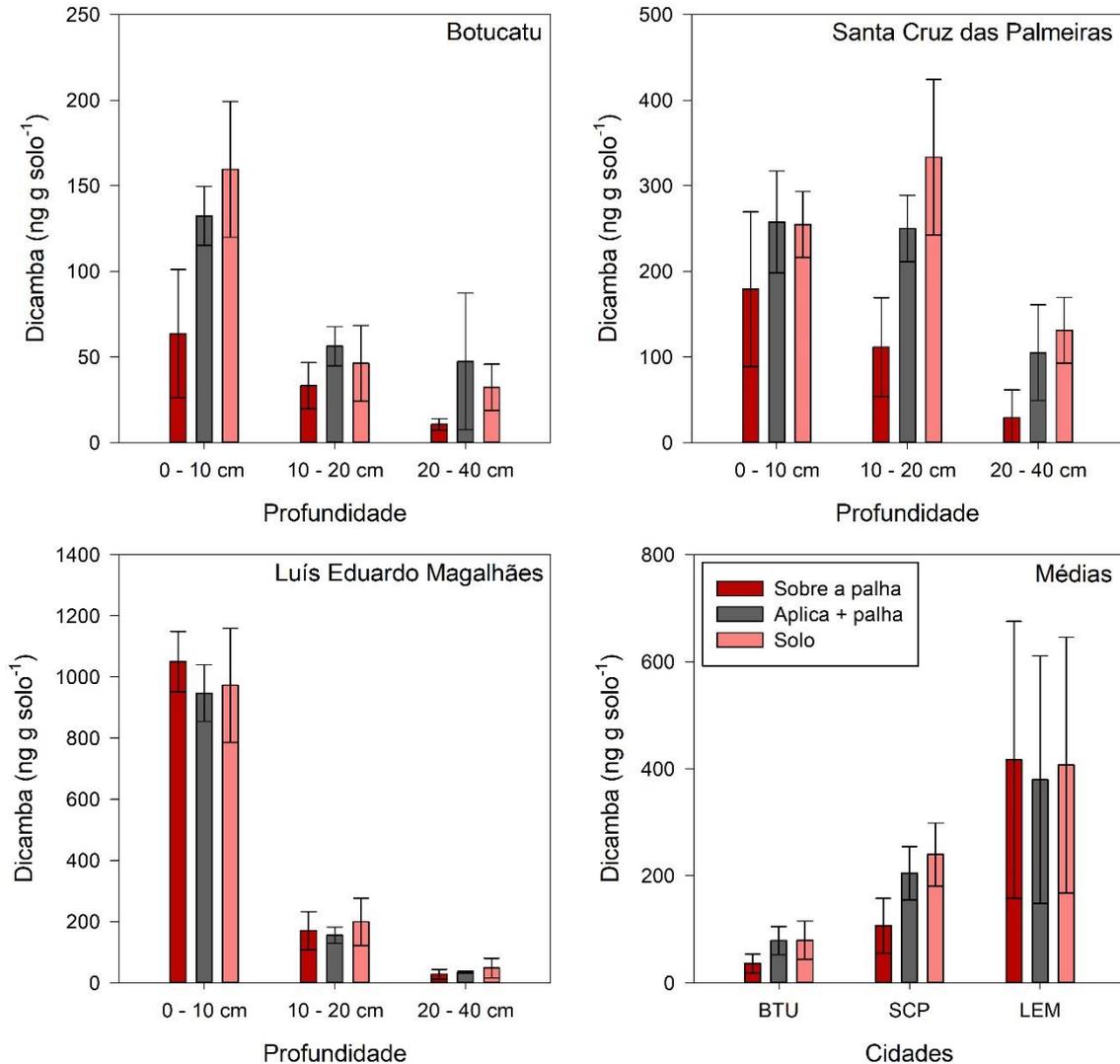
Aos 6 dias após a aplicação (DAA) em Botucatu, as concentrações de dicamba ficaram distribuídas entre as camadas de coleta (0-10, 10-20 e 20-40 cm), assim como ocorreu aos 4 DAA em Santa Cruz das Palmeiras e Luís Eduardo Magalhães. As diferenças de concentrações que podem ser observadas, possivelmente se devem à diferença de volume de chuvas entre as localidades. Em Botucatu, entre a 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> coleta, o volume de chuva acumulado foi de aproximadamente 12 mm (Figura 2), o que possibilitou a maior movimentação do herbicida para camadas mais inferiores, enquanto o volume de chuva em Santa Cruz das Palmeiras e Luís Eduardo Magalhães foi de aproximadamente 5 mm e 2 mm (Figura 3 e 4), respectivamente.

Os solos argilosos (Botucatu e Santa Cruz das Palmeiras) apresentaram menores concentrações do herbicida quando comparados com o solo arenoso de Luís Eduardo Magalhães. Novamente, as diferenças são explicadas pela grande diferença textural entre as localidades, além da quantidade de matéria orgânica. A diferença entre os solos de Botucatu e Santa Cruz das Palmeiras, com menores ocorreu devido a maior precipitação ocorrida em Botucatu entre o primeiro e o segundo período de coleta.

No solo arenoso (Luís Eduardo Magalhães), conforme Figura 12, foram encontradas maiores concentrações do herbicida na camada superficial (0-10 cm) nos tratamentos em que o dicamba foi aplicado sobre a palha, sugerindo que a palha pode ter interferido no processo de lixiviação. As concentrações nas camadas de 10-20 cm e 20-40 cm são baixas quando comparadas com a camada superficial (0-10 cm), portanto, sugere-se que maiores quantidades de precipitação são necessárias para realizar o carregamento vertical das moléculas.

De maneira geral, nos tratamentos que foram aplicados sobre o solo e mantidos sem cobertura, e nos que foram aplicados os tratamentos e em seguida distribuída a palha, encontrou-se as maiores concentrações dos herbicidas em quase todas as camadas dos 3 experimentos, demonstrando que quando a aplicação é realizada em ambientes que possuem palha, a dinâmica de carregamento do herbicida pode ser modificada.

**Figura 12 - Concentração de dicamba no solo em  $\text{ng g}^{-1}$  aos 6 DAA em Botucatu e 4 DAA em Santa Cruz das Palmeiras e Luís Eduardo Magalhães**



\*BTU= Botucatu; SCP= Santa Cruz das Palmeiras; LEM= Luis Eduardo Magalhães.

As concentrações extraídas aos 11 DAA em Botucatu foram menores em relação aos demais experimentos (Figura 13). Essas concentrações mais baixas, possivelmente ocorreram devido ao alto volume de chuvas acumuladas (aproximadamente 85 mm) até a data da terceira coleta, enquanto Santa Cruz das Palmeiras e Luís Eduardo Magalhães acumularam volumes de chuvas muito inferiores, de aproximadamente 28 e 29 mm, respectivamente, dificultando o caminhamento das moléculas herbicidas para camadas mais inferiores.

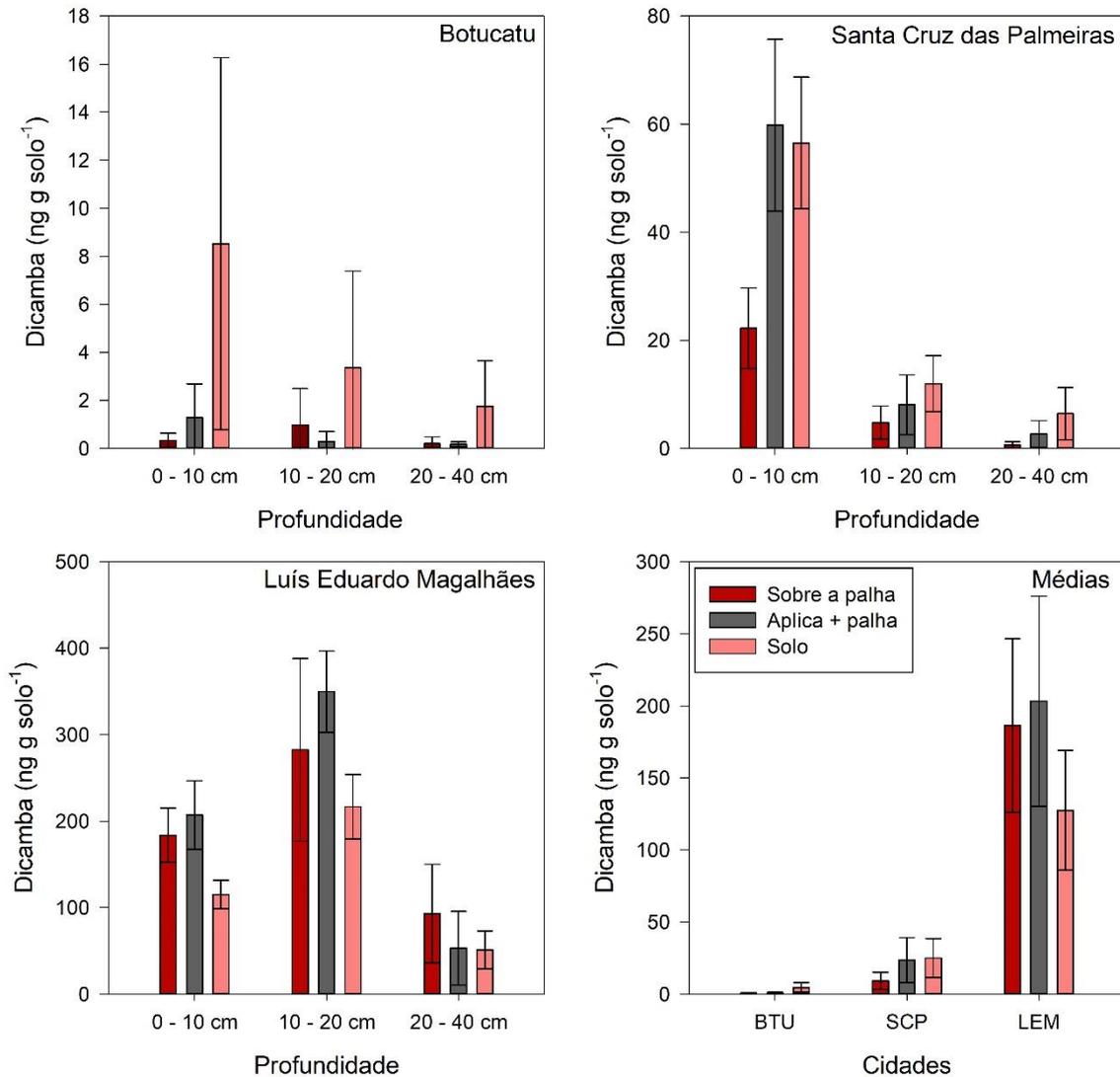
Burnside e Lavy (1966) estudaram a dissipação do dicamba em dois solos argilosos e um solo arenoso e verificaram que nos solos argilosos o dicamba

persistiu por menos tempo do que no solo arenoso. Os autores também observaram que um dos solos argilosos continha maior quantidade de matéria orgânica, e sugeriram uma maior população microbiana que pode ter contribuído para a dissipação mais rápida. Ainda, os autores relataram que nos solos mantidos com umidade de aproximadamente 80%, a dissipação foi maior e mais rápida do que em solos com menor umidade (18%). Sendo assim, as menores concentrações encontradas no solo de Botucatu podem estar relacionadas com a textura do solo, maior quantidade de matéria orgânica com relação a Luís Eduardo Magalhães e uma maior umidade do solo, que contribuem para degradação do herbicida através da atividade de microrganismos.

De maneira geral, nos solos de Botucatu e Santa Cruz das Palmeiras, as concentrações maiores foram encontradas nos tratamentos que foram aplicados diretamente sobre o solo sem a posterior colocação da palha. A adição de palha como cobertura do solo proporciona uma melhor manutenção da umidade do solo, além de ser incremento de matéria orgânica, e ambos são fatores que favorecem a atividade microbiana que auxilia na degradação de herbicidas (CORREIA, 2018). Além disso, pela palha exercer barreira física interceptando a molécula herbicida em sua superfície, a molécula pode ser degradada antes de ser carregada da palha até o solo.

Um estudo realizado com 9 tipos de solo para avaliar a DT50 e degradação microbiana de herbicidas, verificou que para solos mais arenosos o tempo de DT50 do dicamba foi de aproximadamente 46 dias, enquanto para um solo mais argiloso, 8 dias. Foi possível observar uma alta correlação entre a degradação do dicamba e a quantidade de carbono orgânico no solo, que esteve altamente relacionada com a bioatividade, sugerindo a degradação deste herbicida por meios biológicos (KAH; BEULKE; BROWN, 2007).

**Figura 13 - Concentração de dicamba no solo  $\text{ng g}^{-1}$  aos 11 DAA em Botucatu e 15DAA em Santa Cruz das Palmeiras e Luís Eduardo Magalhães**



\*BTU= Botucatu; SCP= Santa Cruz das Palmeiras; LEM= Luis Eduardo Magalhães.

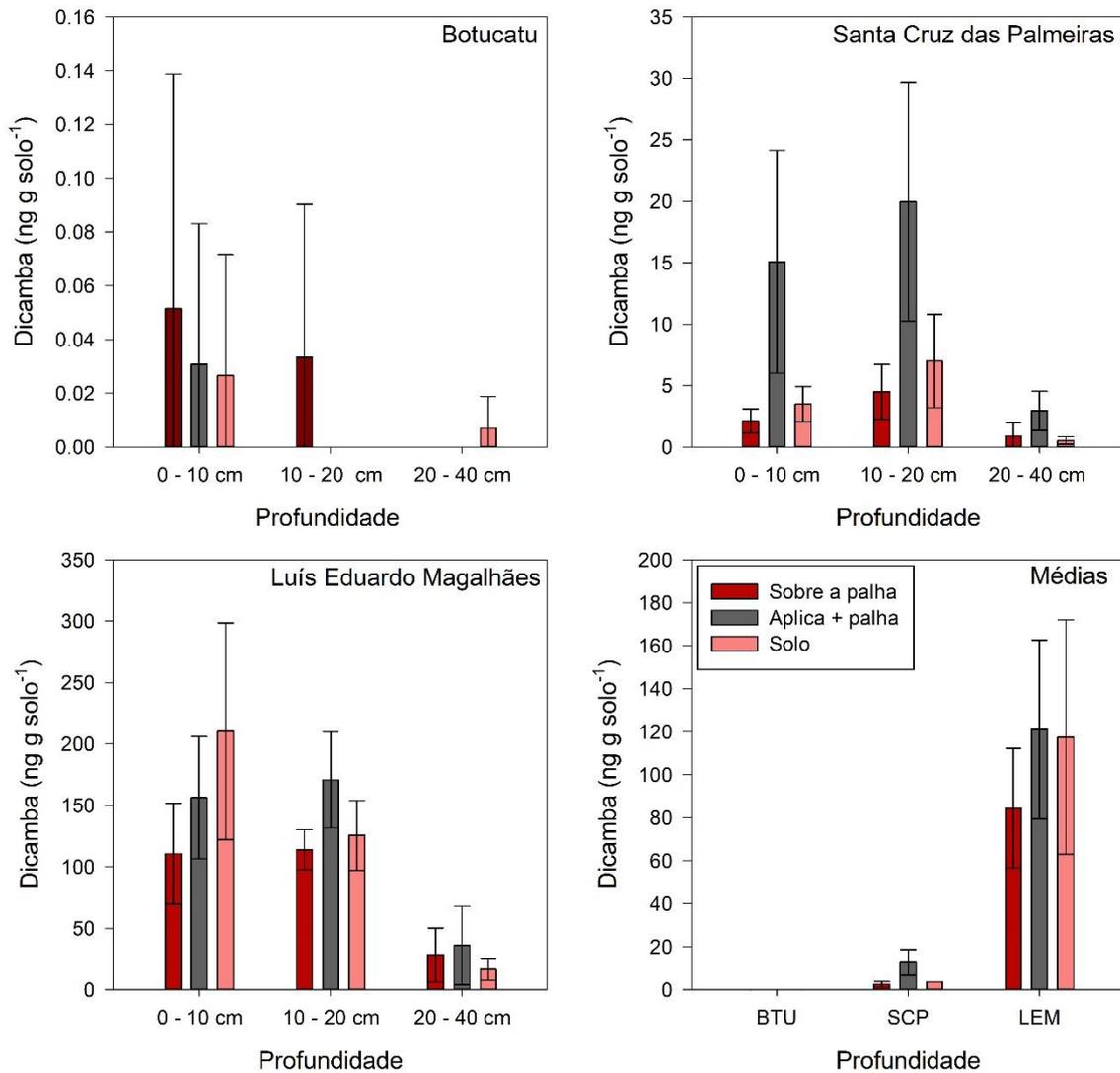
Aos 30 DAA, as concentrações de dicamba encontradas no solo argiloso de Botucatu foram quase nulas em todas as profundidades, pois o acúmulo de chuva foi superior a 150 mm. Em Santa Cruz das Palmeiras, outro solo argiloso, as concentrações também foram menores, no entanto ainda com alguma representatividade, neste caso com volume de chuva acumulado em aproximadamente 40 mm. Silva et al. (2020), realizaram a aplicação de dicamba nas doses de 120 e 240 g e.a. com simulação de chuva de 90 mm 7 DAA, para posterior semeadura da soja, e verificaram que mesmo com a grande quantidade de chuva, não foi suficiente para lixiviar todo o dicamba presente no solo, ainda

causando efeitos fitotóxicos e prejuízos na produtividade. Destaca-se ainda, maiores concentrações nos tratamentos que foram aplicados diretamente no solo e depois receberam uma camada de palha ( $4 \text{ t ha}^{-1}$  de palha de milho) em Santa Cruz das Palmeiras, sugerindo-se que a palha pode exercer uma barreira física, mas neste caso, evitando que o herbicida lixivie para camadas mais profundas, uma vez que maiores concentrações foram encontradas nas camadas de 0-10 e 10-20 cm (Figura 14).

É possível observar maiores concentrações do herbicida nos tratamentos que foram aplicados sobre a palha no experimento de Botucatu nas camadas de 0-10 e 10-20cm, o que pode estar relacionado com o desprendimento do herbicida da palha através da água para então ser carregado até o solo. Hall e Mumma (1994) avaliaram a lixiviação de dicamba em 5 anos agrícolas no sistema de plantio direto e convencional, e observaram que as concentrações de dicamba encontradas nos sistemas de plantio direto foram maiores, sugerindo que a cobertura exerce influência na dinâmica do herbicida e desfavorece o escoamento do mesmo.

Altas concentrações foram encontradas em Luís Eduardo Magalhães, localidade em que o solo é arenoso. O volume de chuvas foi muito inferior (apenas 29 mm) com relação às outras localidades, o que possivelmente pode ter desfavorecido o carregamento do herbicida no sentido vertical. Ainda, solos arenosos normalmente são solos considerados menos férteis e com menores quantidades de matéria orgânica (CENTELO et al., 2017), sendo assim a presença e atividade de microrganismos é diminuída, o que pode ter desfavorecido a degradação do produto nesta localidade, uma vez que a quantidade de matéria orgânica encontrada foi inferior ( $12 \text{ g dm}^{-3}$ ) quando comparado com Botucatu e Santa Cruz das Palmeiras. Hahn, Burnside e Lavy (1969) avaliaram a dissipação do herbicida dicamba em solo argiloso e arenoso a 1, 2, 4 e 8 meses após a incubação do herbicida e verificaram que no solo argiloso, a dissipação foi maior e mais rápida do que no solo arenoso.

**Figura 14 - Concentração de dicamba no solo em ng g de solo<sup>-1</sup> aos 30 DAA**



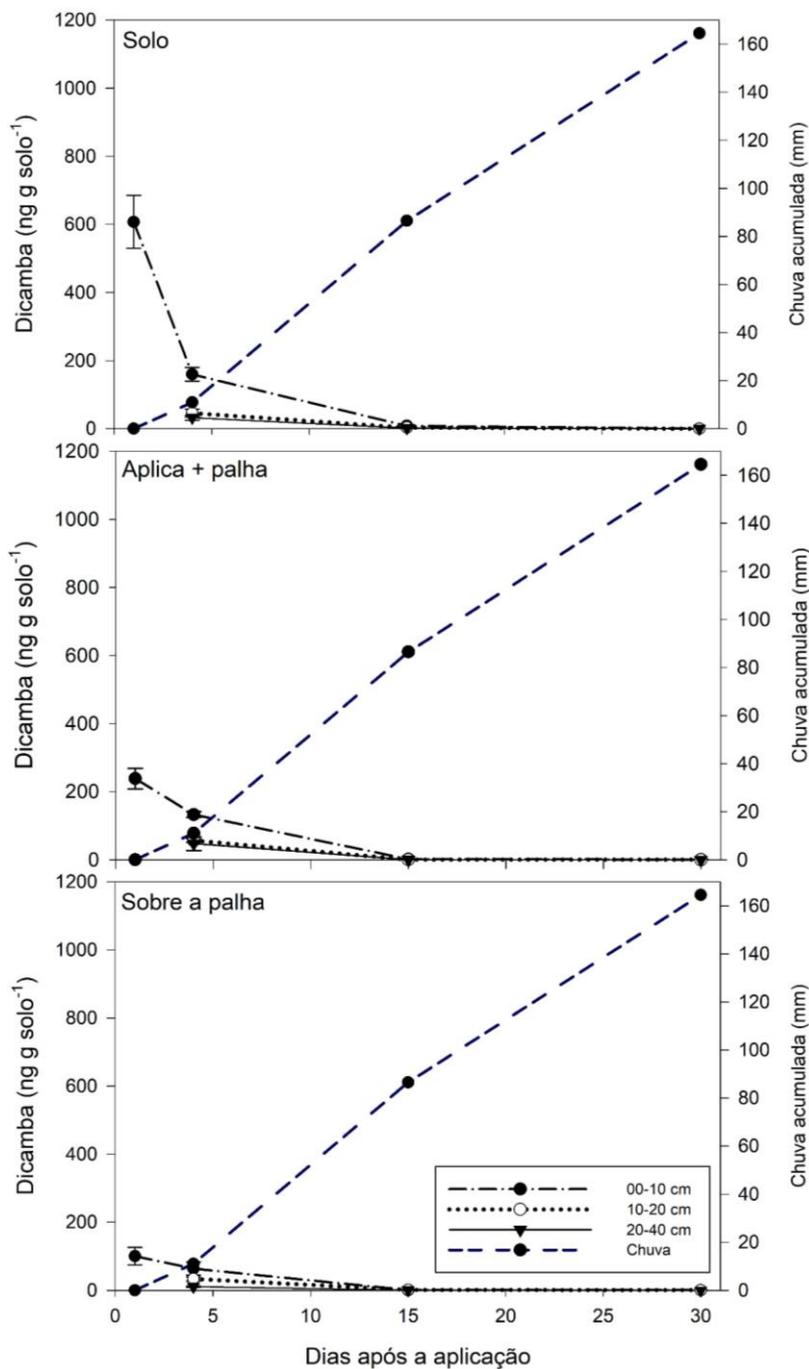
\*BTU= Botucatu; SCP= Santa Cruz das Palmeiras; LEM= Luis Eduardo Magalhães.

Nas Figuras 15, 16 e 17, é possível observar as concentrações de dicamba ao longo do tempo nos experimentos realizados em Botucatu, Santa Cruz das Palmeiras e Luís Eduardo, respectivamente, de acordo com o volume de precipitação ocorrido durante a condução dos experimentos. É possível observar que quanto maior o volume de chuvas, menor foi a concentração de dicamba encontrada. E isto se deve à característica de solubilidade do produto.

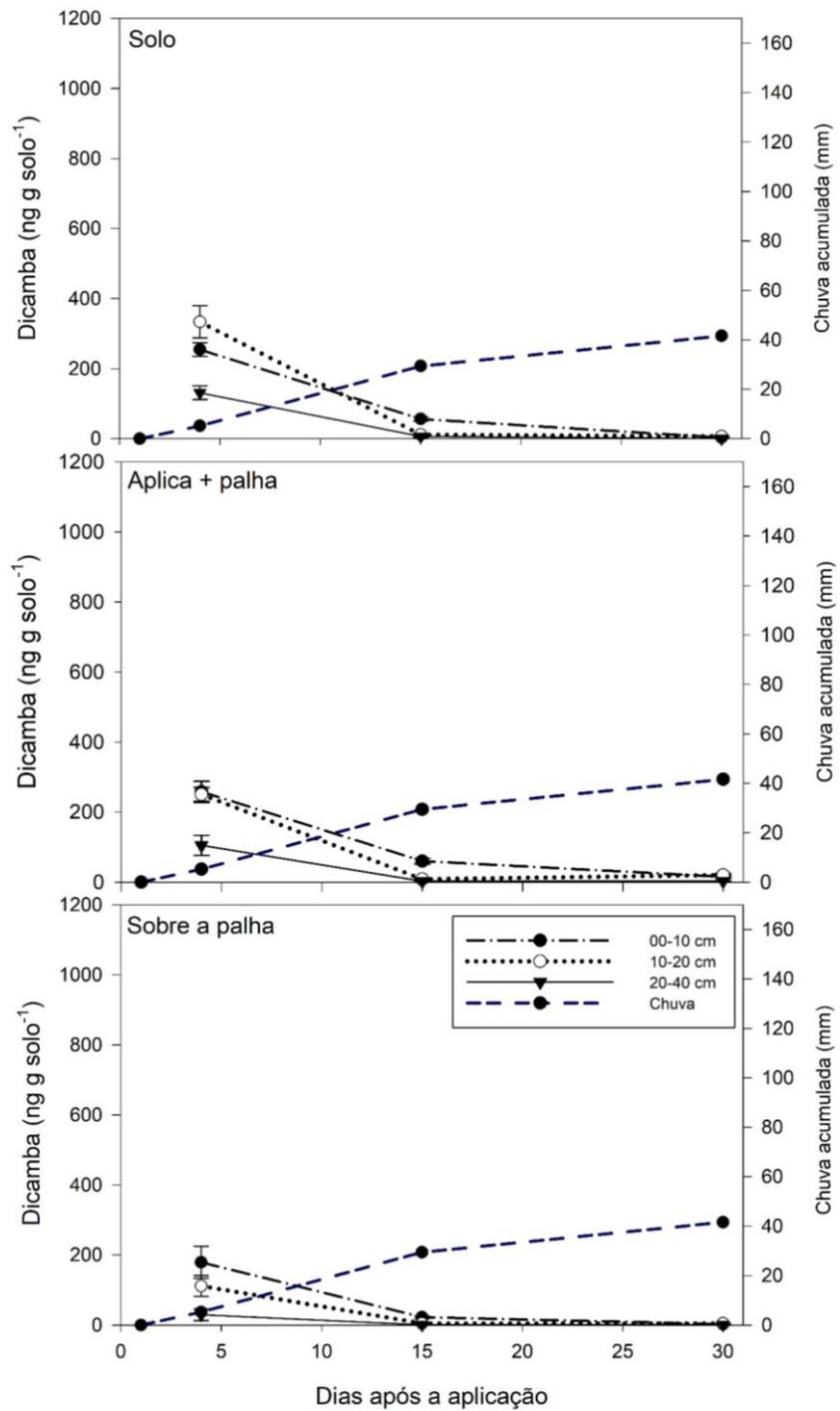
No experimento conduzido em Botucatu, o volume de chuvas foi muito superior com relação a Santa Cruz das Palmeiras e Luís Eduardo Magalhães, o que proporcionou quantidades do herbicida muito reduzidas quando comparado com as outras localidades.

Concentrações superiores foram encontradas naqueles tratamentos que foram aplicados diretamente sobre o solo, sem posterior adição da palha, no primeiro dia após a aplicação. No entanto, por não possuir a palha como barreira física, a lixiviação do herbicida é favorecida, encontrando-se menores concentrações em todas as camadas já nos primeiros dias após a aplicação. Observa-se ainda que volumes de chuva de aproximadamente 40 a 45 mm são precipitações que tem a capacidade de lixiviar boa parte do produto no solo.

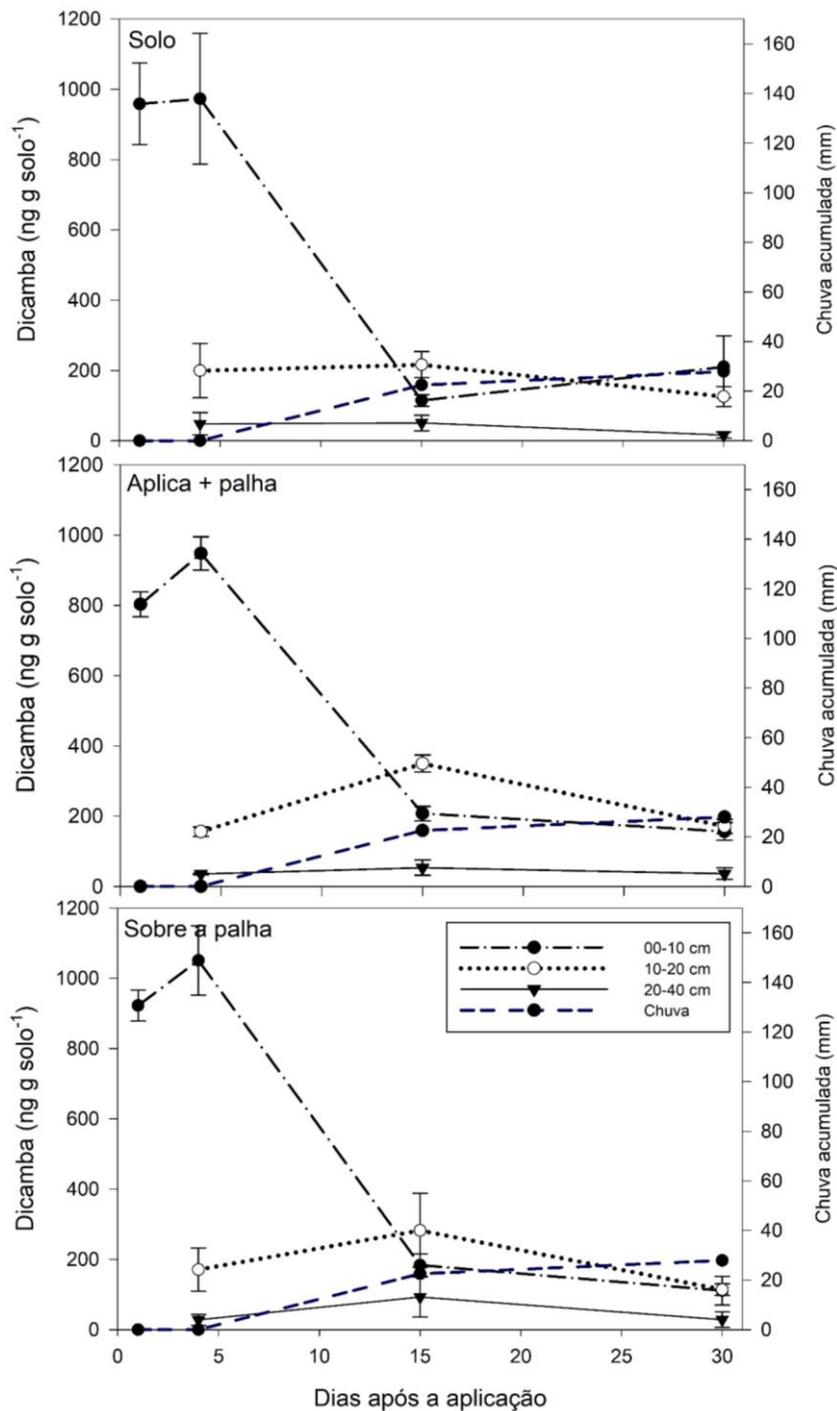
**Figura 15 – Concentração de dicamba ao longo do tempo em Botucatu**



**Figura 16 – Concentração de dicamba ao longo do tempo em Santa Cruz das Palmeiras**



**Figura 17 – Concentração de dicamba ao longo do tempo em Luís Eduardo Magalhães**



#### 4.2 Controle e densidade de plantas daninhas

Os dados de controle de plantas daninhas para o experimento realizado em Botucatu estão apresentados nas Tabelas 10, 11 e 12. De maneira geral, o controle de plantas daninhas na cidade de Botucatu não obteve alta eficácia. Isto ocorreu

devido ao fato de baixas concentrações do herbicida terem sido encontradas nas extrações, que foram resultado do alto volume de chuvas nesta localidade. Aos 14 DAA, os melhores resultados foram encontrados quando o herbicida foi aplicado diretamente no solo, nas doses de 480 e 720 g e.a., com 10 e 15% de controle, respectivamente.

Aos 21 DAA, os melhores tratamentos foram encontrados na dose mais alta (720 g e.a.), para o tratamento aplicado sobre a palha, sobre o solo e posterior colocação da palha, e sobre o solo, com médias de 13,75, 18,75 e 18,75%, respectivamente. Nas menores doses, observou-se uma pequena diminuição na infestação de plantas daninhas, no entanto, com nível de controle muito baixo.

Aos 28 DAA, observou-se a diminuição nos níveis de controle. As extrações de dicamba realizadas aos 30 DAA, demonstraram concentrações muito baixas do herbicida no solo. Esse resultado, por sua vez, pode ter interferido significativamente nos níveis de controle que foram observados neste experimento, pois Osipe et al. (2017), avaliando o controle de *Ipomoea nil* em pós-emergência, observou níveis de controle de até 80% com doses de 201,6 g e.a. e 100% das plantas controladas com a dose de 403,2 g e.a., demonstrando a excelente eficácia do herbicida para essa espécie em pós-emergência.

De maneira geral, os resultados de controle com melhor eficiência foram encontrados nos tratamentos aplicados diretamente sobre o solo, isto porque as concentrações do herbicida encontradas neste manejo, uma vez que nos tratamentos aplicados sobre a palha, há uma barreira física de interceptação que impede que o herbicida atinja o solo e desta forma, necessita de uma certa quantidade de água para que ocorra o carregamento do herbicida da palha para o solo.

Osipe (2015) avaliou o controle de *Ipomoea nil* em pós-emergência, observou que o herbicida dicamba apresenta excelente eficiência (80 e 100%) de controle quando aplicado em plantas com 4-6 folhas na dose de 201,6 e 403,2 g e.a., respectivamente, aos 30 dias após a aplicação. Aplicações realizadas em estádios mais avançados das plantas (10 folhas) exigiram doses de 806,4 g e.a. para controle de 100% das plantas.

**Tabela 10 - Controle de plantas daninhas (%) aos 14 DAA em Botucatu**

Dose (g e.a.)	Manejo		
	Palha	A + P	Solo
120	0,0 bB	5,0 bA	5,0 cA
240	5,0 aA	5,0 bA	5,0 cA
480	0,0 bC	5,0 bB	10,0 bA
720	0,0 bC	10,0 aB	15,0 aA
C. V. (%)		0,2651	
DMS Dose		0,0276	
DMS Manejo		0,025	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabela 11 - Controle de plantas daninhas (%) aos 21 DAA em Botucatu**

Dose (g e.a.)	Manejo		
	Palha	A + P	Solo
120	0,00 bA	0,00 cA	0,00 bA
240	0,00 bB	6,25 bA	1,25 bB
480	0,00 bC	5,00 bB	18,75 aA
720	13,75 aB	18,75 aA	18,75 aA
C. V. (%)		26,61	
DMS Dose		3,49	
DMS Manejo		3,17	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabela 12 - Controle de plantas daninhas (%) aos 28 DAA em Botucatu**

Dose (g e.a.)	Manejo		
	Palha	A + P	Solo
120	0,00 bA	0,00 bA	0,00 bA
240	0,00 bA	0,00 bA	0,00 bA
480	0,00 bB	1,25 bB	16,25 aA
720	10,0 aB	16,25 aA	17,50 aA
C. V. (%)		30,44	
DMS Dose		2,97	
DMS Manejo		2,69	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

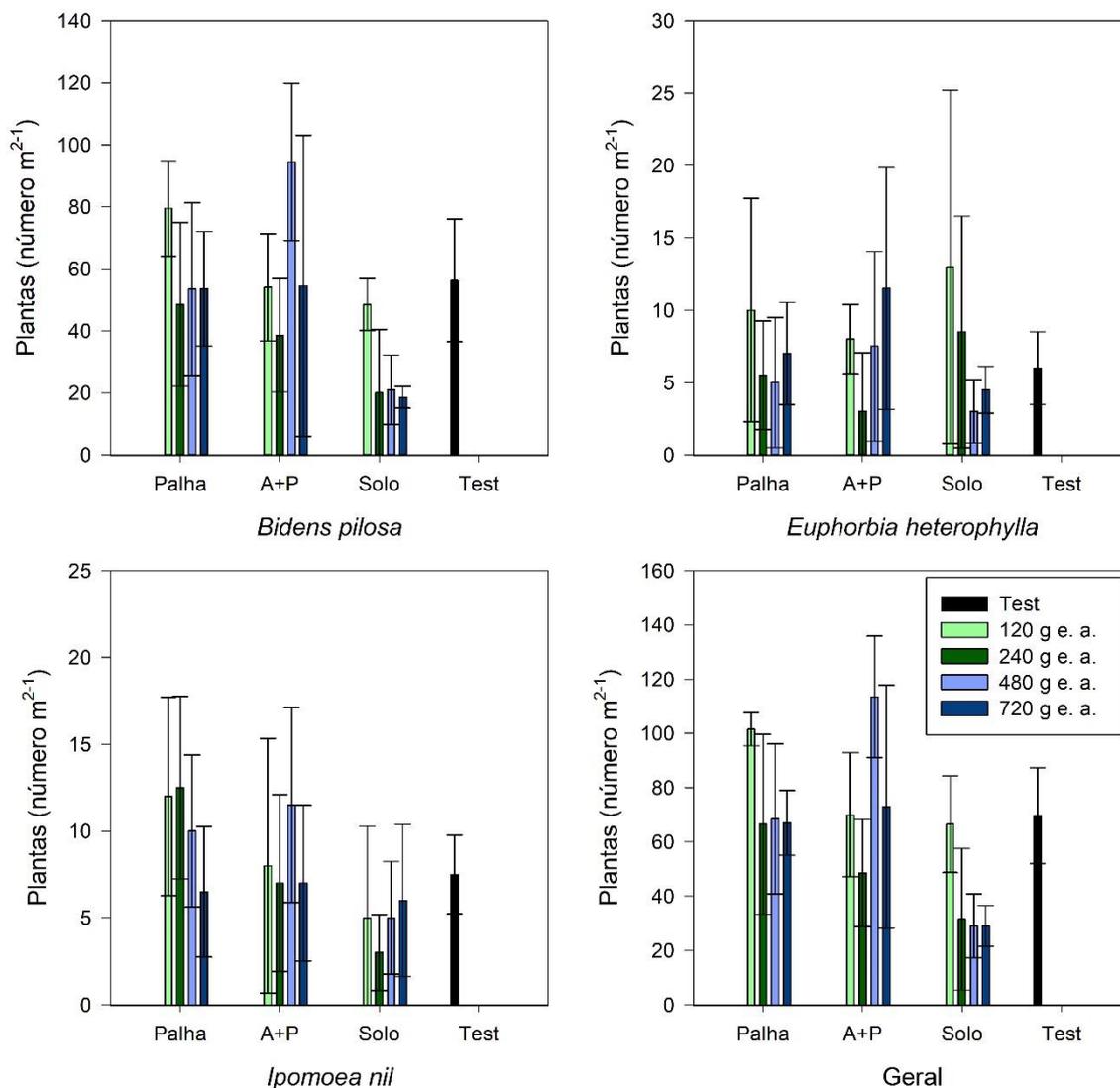
Como já citado anteriormente, o experimento realizado em Botucatu registrou altos volumes de chuva, fato esse, que influenciou em toda a dinâmica do herbicida no solo. Devido às menores concentrações encontradas do herbicida, mesmo nas doses mais altas, o controle de plantas daninhas nesse experimento

não foi eficiente. O mesmo observa-se para a densidade de plantas daninhas encontradas na área, que pode ser observada na Figura 18.

Nesse caso, o herbicida não foi tão eficiente diminuindo a densidade populacional da espécie *Bidens pilosa* nos manejos que continham palha, demonstrando-se com melhor desempenho nos tratamentos de dose mais alta aplicados diretamente sobre o solo. No entanto, ressalta-se uma alta infestação natural da área que foi utilizada para condução do experimento, influenciando assim no número de plantas encontradas.

Já as espécies *Euphorbia heterophylla* e *Ipomoea* nil se mostraram menos sensíveis ao herbicida dicamba, uma vez que a densidade populacional destas espécies foi semelhante à encontrada nos tratamentos que foram mantidos como controle, sem aplicação de dicamba. Apenas para *E. heterophylla* no tratamento aplicado diretamente sobre o solo, nas duas maiores doses que podemos observar diminuição da densidade populacional de plantas, demonstrando novamente que a palha pode prejudicar a dinâmica do herbicida para o controle de plantas daninhas em pré-emergência.

**Figura 18 - Densidade de plantas (plantas/m<sup>2</sup>) das espécies *Bidens pilosa*, *Euphorbia heterophylla*, *Ipomoea nil* e média das três espécies (geral) em experimento realizado em campo na cidade de Botucatu - SP aos 28 dias após a aplicação**



No experimento de Santa Cruz das Palmeiras o controle de plantas daninhas para as referidas espécies foi realizado apenas aos 28DAA. Os dados de controle aos 28 DAA podem ser encontrados na Tabela 13. Nesta avaliação, a interação entre doses x manejos de palha não foi significativa. O manejo de palha também não influenciou no controle, não havendo diferença significativa.

Aos 28 DAA, pode-se observar diferença significativa entre as doses aplicadas do herbicida dicamba. As duas maiores doses de 480 g e.a. e 720 g e.a. apresentaram melhores controles, de 46,66 e 64,16%, respectivamente. A maior

dose apresentou bom controle, no entanto, considerando a alta eficácia desse herbicida, ainda não são níveis satisfatórios. A menor dose (120 g e.a.), foi a menos eficiente, com média de controle de 7,5%. Estes resultados estão relacionados com as concentrações de herbicida encontradas aos 30 DAA, uma vez que foram concentrações superiores daquelas observadas em Botucatu, sendo assim, apresentando maior potencial de controle de plantas daninhas.

**Tabela 13 - Controle de plantas daninhas (%) 28 DAA em Santa Cruz das Palmeiras**

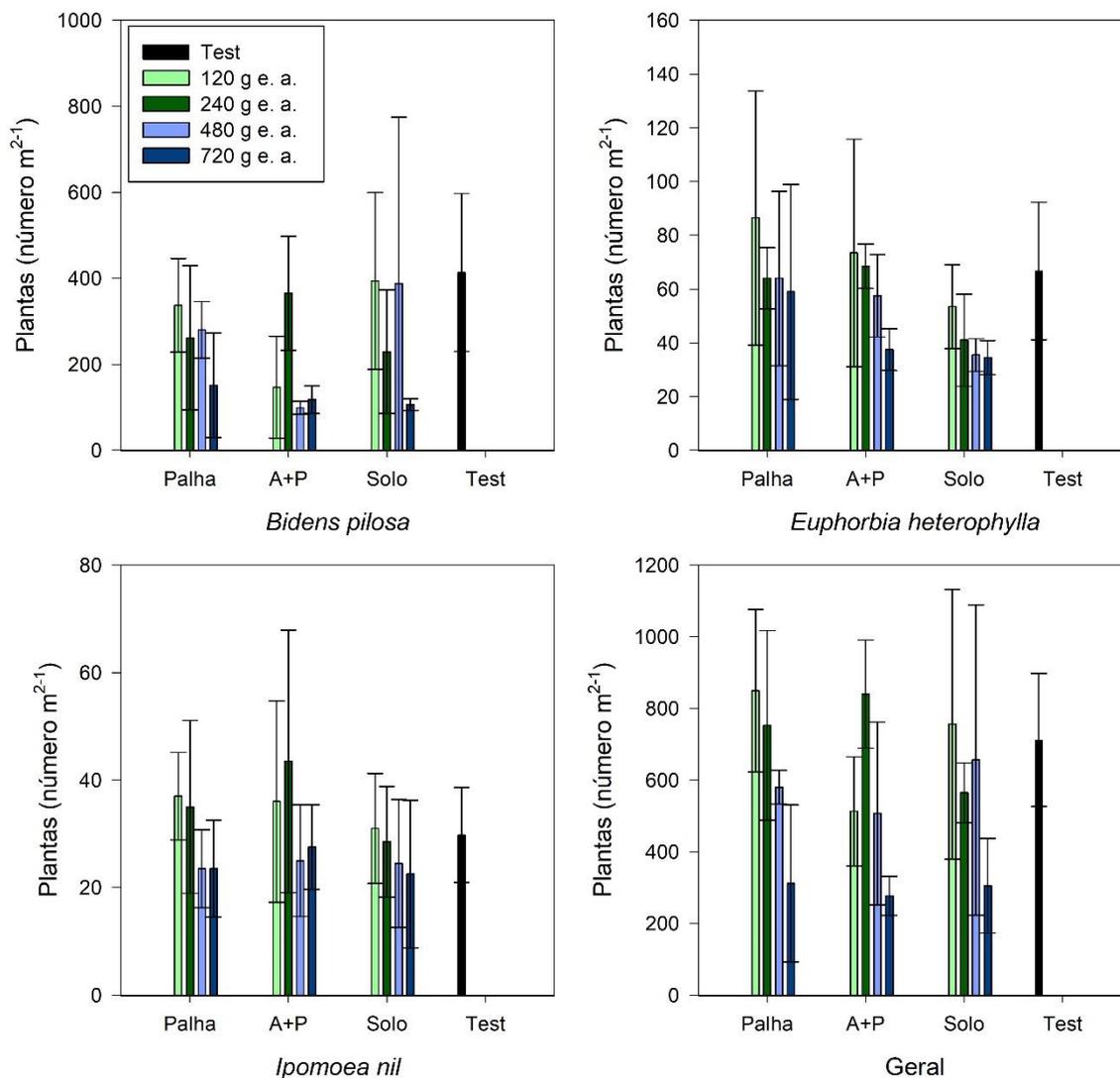
<b>Dose (g e.a.)</b>	<b>Médias</b>
<b>120</b>	7,5 c
<b>240</b>	27,08 bc
<b>480</b>	46,66 ab
<b>720</b>	64,16 a
CV (%)	49,33
DMS	19,80

Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

A densidade populacional de plantas encontrada no experimento realizado em Santa Cruz das Palmeiras foi muito superior do que a densidade populacional em Botucatu, no entanto, a redução de plantas foi superior em Santa Cruz das Palmeiras quando comparado com Botucatu, isto porque as concentrações do herbicida encontradas ao final do experimento em Santa Cruz das Palmeiras foi superior do que as encontradas em Botucatu, refletindo assim em melhores porcentagens de controle das espécies estudadas e maior redução da densidade populacional de plantas.

Em Santa Cruz das Palmeiras, foi possível observar uma diminuição da população de plantas daninhas nas duas maiores doses aplicadas (480 e 720 g e.a.), conforme Figura 19. Neste caso, a diminuição populacional maior foi a da espécie *Bidens pilosa* na dose de 720 g e.a., quando comparada com a média das testemunhas, demonstrando ser mais sensível do que as demais espécies estudadas. No entanto, *Ipomoea nil* e *Euphorbia heterophylla* apresentaram as menores densidades populacionais de plantas entre as 3 espécies estudadas.

**Figura 19 - Densidade de plantas (plantas/m<sup>2</sup>) das espécies *Bidens pilosa*, *Euphorbia heterophylla*, *Ipomoea nil* e média das três espécies (geral) em experimento realizado em campo na cidade de Santa Cruz das Palmeiras - SP aos 28 dias após a aplicação**



Os dados de controle do experimento de Luís Eduardo Magalhães aos 14, 21 e 28 DAA se encontram nas Tabelas 14, 15 e 16 respectivamente. Aos 14 DAA não houve efeito da interação dose x manejo, houve apenas diferença significativa entre as doses aplicadas. As duas maiores doses (480 e 720 g e. a.) foram as melhores para o controle de plantas daninhas, com porcentagens de controle de 96,25 e 97,08%, respectivamente. No entanto, as menores doses também apresentaram um controle eficiente de 89,16 e 91,25% para as doses 120 e 240 g e.a.

Aos 21 DAA, os níveis de controle mais baixos foram encontrados nas duas menores doses (120 e 240 g e.a.), no entanto, ainda foram níveis satisfatórios que variaram de 80 a 91,25% de controle. Foi observada diferença estatística para o manejo de palha, apenas na dose de 120 g e.a. que apresentou melhor controle no tratamento aplicado sobre o solo mantido sem cobertura, demonstrando mais uma vez o efeito negativo da palha para a dinâmica do herbicida e manejo de plantas daninhas.

Aos 28 DAA, novamente os menores controles foram para as duas menores doses, no entanto, ainda apresentando um controle eficiente para as espécies em questão. Houve diferença estatística entre os manejos apenas na menor dose, em que a aplicação no solo foi superior em relação aos manejos que continham palha, indicando que em menores doses a palha pode prejudicar a dinâmica deste herbicida.

Os altos níveis de controle que foram verificados em Luís Eduardo Magalhães estão relacionados às concentrações do herbicida encontradas nas extrações do mesmo do solo, pois entre as três localidades, Luís Eduardo Magalhães apresentou concentrações muito elevadas quando comparadas com Santa Cruz das Palmeiras ou Botucatu, em que os níveis de controle foram inferiores, bem como as concentrações do herbicida no solo.

**Tabela 14 - Controle de plantas daninhas (%) 14 DAA em Luís Eduardo Magalhães**

<b>Dose (g e.a.)</b>	<b>Médias</b>
<b>120</b>	89,16 b
<b>240</b>	91,25 b
<b>480</b>	96,25 a
<b>720</b>	97,08 a
CV (%)	3,20
DMS	3,31

Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabela 15 - Controle de plantas daninhas (%) 21 DAA em Luís Eduardo Magalhães**

Dose (g e.a.)	Manejo		
	Palha	A + P	Solo
120	80,0 cB	82,5 cB	88,75 bA
240	87,5 bA	91,25 bA	87,5 bA
480	95,0 aA	93,75 abA	93,75 aA
720	96,25 aA	96,25 aA	93,75 aA
C. V. %		2,86	
DMS Dose		4,95	
DMS Manejo		4,49	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabela 16 - Controle de plantas daninhas (%) 28 DAA em Luís Eduardo Magalhães**

Dose (g e.a.)	Manejo		
	Palha	A + P	Solo
120	71,25 cB	73,75 cB	81,25 bA
240	87,5 bA	87,5 bA	83,75 bA
480	93,75 abA	93,75 abA	93,75 aA
720	96,25 aA	96,25 aA	93,75 aA
C. V. %		3,97	
DMS Dose		6,67	
DMS Manejo		6,05	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Para o experimento realizado em casa de vegetação com as espécies *Bidens pilosa*, *Euphorbia heterophylla* e *Ipomoea nil* não foi possível observar emergência de plântulas aos 7 DAA. Os dados de controle aos 14, 21 e 28 DAA podem ser visualizados nas Tabelas 17, 18 e 19.

Aos 14 DAA, a maior dose (720 g e.a.) apresentou melhores níveis de controle, com diferença entre os manejos de palha, em que a aplicação realizada diretamente sobre o solo apresentou 100% de controle, enquanto as aplicações sobre a palha e sobre o solo e posterior distribuição da palha apresentaram controle de 47,5 e 50%, demonstrando que a palha exerce influência na dinâmica deste herbicida, sugerindo a retenção do mesmo pela palha.

Aos 21 DAA, novamente os melhores níveis de controle foram obtidos com a aplicação de 720 g e.a. nos três manejos de palha, com diferença estatística entre cada manejo, com a melhor média para o tratamento aplicado sobre o solo, seguida da aplicação no solo e posterior adição da palha, e sobre a palha.

Aos 28 DAA, as duas menores doses apresentaram níveis de controle baixos, não sendo eficientes para o controle das espécies em questão. Os melhores controles foram observados na dose de 480 g e.a. com aplicação sobre a palha e sobre o solo com posterior adição da palha, com médias de 55 e 78,75%, respectivamente, e na dose de 720 g e.a., com controle entre 75 e 85%, representando um ótimo controle de plantas daninhas.

Ressalta-se que os experimentos realizados em casa de vegetação possuem ambiente controlado, com quantidade de chuva pré-determinada e portanto, não há perda das moléculas herbicidas por lixiviação, apresentando melhores níveis de controle, do que o experimento realizado em Botucatu a nível de campo, com o mesmo tipo de solo, mesmas doses e manejos.

Destaca-se o amplo espectro de ação para folhas largas do herbicida dicamba, sendo altamente eficiente para espécies como *Richardia brasiliensis*, *Commelina benghalensis*, *Conyza* spp. (OSIPE et al., 2017), *Alternanthera tenella* (PEREIRA et al., 2020), *Conyza canadensis*, *Salsola iberrica* (EVERITT; KEELING, 2007). *Bidens pilosa* possui resistência múltipla aos inibidores da ALS e do PSII, *Euphorbia heterophylla* aos inibidores da ALS e PROTOX (HEAP, 2021), enquanto *Ipomoea* spp. apresenta tolerância ao herbicida glyphosate, sendo consideradas espécies de difícil controle.

**Tabela 17 - Controle de plantas daninhas (%) 14 DAA em experimento realizado em casa de vegetação com as espécies *Bidens pilosa*, *Euphorbia heterophylla* e *Ipomoea nil***

Dose (g e.a.)	Manejo		
	Palha	A + P	Solo
120	6,25 cAB	7,5 dA	0,00 bB
240	7,5 cB	16,25 cA	0,00 bB
480	30,0 bB	40,0 bA	5,0 bC
720	47,5 aB	50,0 aB	100,0 aA
C. V. %		15,3	
DMS Dose		7,52	
DMS Manejo		6,83	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabela 18 - Controle de plantas daninhas (%) 21 DAA em experimento realizado em casa de vegetação com as espécies *Bidens pilosa*, *Euphorbia heterophylla* e *Ipomoea nil***

Dose (g e.a.)	Manejo		
	Palha	A + P	Solo
120	3,5 cB	17,5 cA	0,00 cB
240	2,75 cC	20,5 bcB	60,0 bA
480	21,25 bA	32,5 bA	0,00 cB
720	55,0 aC	70,0 aB	100,0 aA
C. V. %		21,61	
DMS Dose		13,13	
DMS Manejo		11,92	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

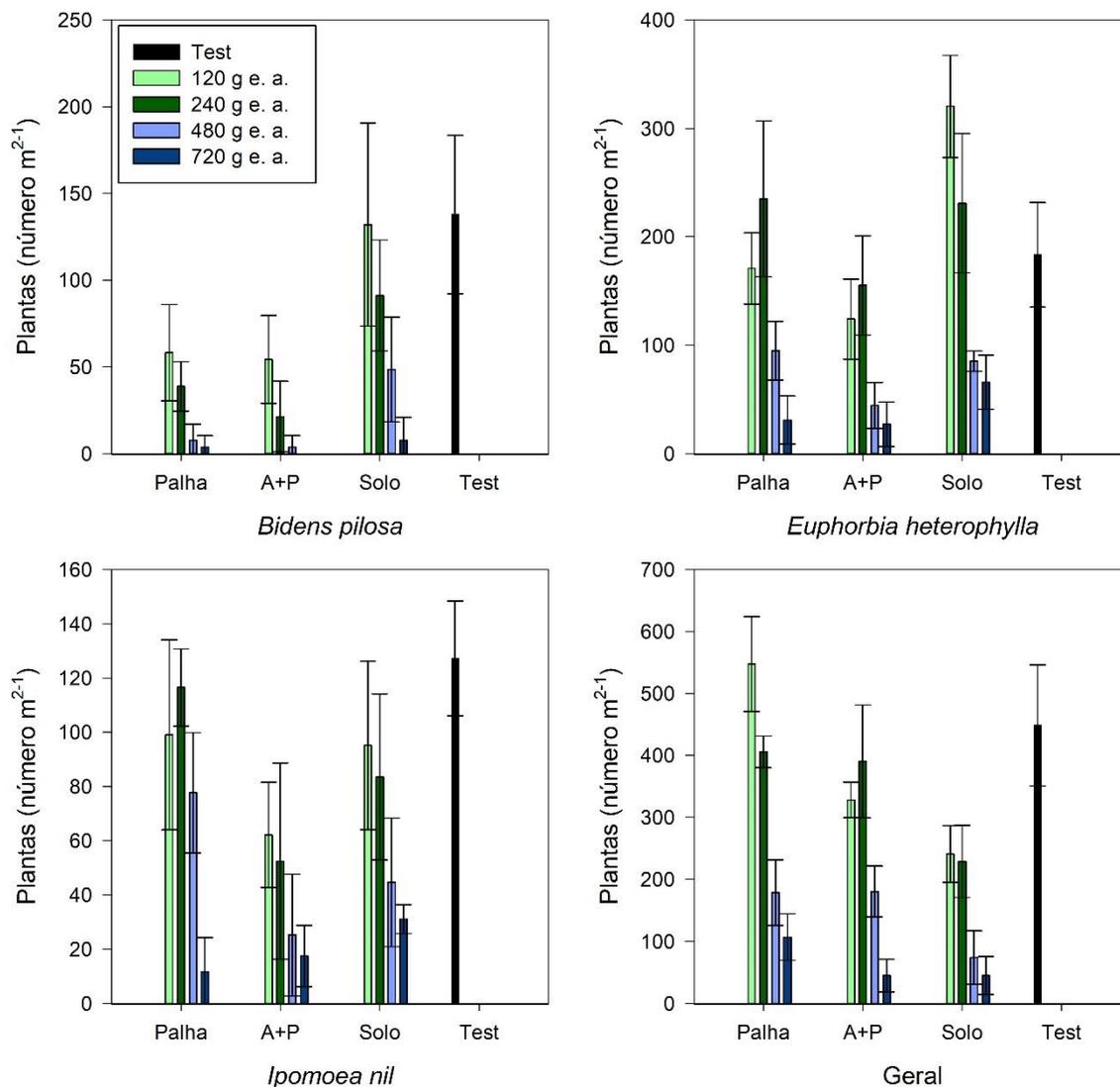
**Tabela 19 - Controle de plantas daninhas (%) 28 DAA em experimento realizado em casa de vegetação com as espécies *Bidens pilosa*, *Euphorbia heterophylla* e *Ipomoea nil***

Dose (g e.a.)	Manejo		
	Palha	A + P	Solo
<b>120</b>	0,00 cB	30,0 dA	0,00 cB
<b>240</b>	0,00 cB	35,0 cA	2,00 cB
<b>480</b>	55,0 bB	78,75 bA	30,0 bC
<b>720</b>	75,0 aB	85,0 aA	85,0 aA
	C. V. %		5,46
	DMS Dose		4,12
	DMS Manejo		3,74

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

As densidades das espécies de plantas daninhas semeadas podem ser visualizadas na Figura 20. As doses de 480 e 720 g e.a. foram mais eficientes na redução da densidade de plantas daninhas. Os tratamentos aplicados no solo e posterior colocação da palha obtiveram menores índices de plantas daninhas. Entre as espécies estudadas, o herbicida dicamba foi menos eficiente para a espécie *Euphorbia heterophylla* e *Ipomoea nil*, nas menores doses independente do manejo de palha, mas demonstrou-se eficiente para redução da densidade populacional nas duas maiores doses estudadas. No entanto, *Bidens pilosa*, obteve maior redução da densidade populacional de plantas em todas as doses estudadas, com melhores resultados nos tratamentos que continham palha. Desta forma, demonstra-se maior sensibilidade da espécie com relação às outras duas estudadas. As duas menores doses não apresentaram um bom desempenho para diminuir o número de plantas infestantes, principalmente para *E. heterophylla* e *I. nil*.

**Figura 20 - Densidade de plantas daninhas (plantas/m<sup>2</sup>) em experimento realizado em casa de vegetação na cidade de Botucatu - SP aos 28 dias após a aplicação**



As médias de fitointoxicação das culturas da soja e algodão no experimento realizado em casa de vegetação, com avaliações aos 7, 14, 21 e 28 DAA encontram-se nas Tabelas 20, 21, 22 e 23, respectivamente. De maneira geral, ambas as espécies apresentaram alta sensibilidade ao herbicida. Aos 7 DAA, a fitointoxicação variou de 82,5 a 96,75% nas duas maiores doses, e fitointoxicação de 76,25 e 82,5% na dose 240 g e.a. para o tratamento com e sem palha, respectivamente.

Aos 14 DAA, as doses mais altas apresentaram maior efeito sobre as culturas, no entanto, mesmo em doses mais baixas (120 e 240 g e.a.) no tratamento

aplicado sobre o solo apresentaram altas porcentagens de fitointoxicação (82,5 e 87,5%, respectivamente), evidenciando assim, os efeitos causados pelo herbicida em culturas sensíveis.

Aos 21 DAA, nas doses de 480 e 720 g e.a. aplicadas no solo, as plantas que haviam emergido encontravam-se completamente mortas. Ainda nas mesmas doses, mas nos tratamentos com palha, os níveis de fitointoxicação foram muito elevados, bem como em doses mais baixas, que apresentaram injúrias de até 86,25 % no manejo em que a aplicação foi realizada no solo.

Em todas as doses aplicadas observou-se fitointoxicação nas duas culturas. Nas doses de 480 e 720 g e.a. nos dois manejos com palha, nas doses 120 e 240 g e.a. aplicadas sobre o solo e 240 g e.a. aplicada sobre a palha apresentaram altos níveis de fitointoxicação. As plântulas emergidas encontravam-se significativamente danificadas e com altas porcentagens de injúrias, que possivelmente comprometeriam seu desenvolvimento no decorrer do ciclo.

Ressalta-se os possíveis prejuízos que podem ser desencadeados a partir de injúrias causadas pelo herbicida dicamba, uma vez que algumas sementes não chegaram a emergir, e pensando-se em nível de campo, prejudica-se o estabelecimento de um bom stand de plantas. Em plantas que emergiram mas apresentaram altos níveis de injúria pelo herbicida, estas plantas podem vir a morrer no decorrer do ciclo, ou ainda, pode haver um prejuízo pela diminuição da produtividade na colheita, portanto destaca-se que deve haver muito cuidado com o efeito residual deste produto no solo.

Plantas de algodão apresentavam menos injúrias em comparação às plantas de soja, demonstrando que a soja é mais sensível do que o algodão quando trata-se de efeito residual de dicamba. As injúrias observadas no algodão foram de amarelecimento das folhas com leve epinastia. Já as injúrias observadas nas plantas de soja envolviam inchaço do tecido, crescimento anormal do meristema apical e encarquilhamento.

Um experimento conduzido com dicamba aplicado na pré-semeadura do algodão indicou injúrias causadas pelo mesmo em aplicações de 1 e 2 semanas antes da semeadura, com danos mais expressivos em uma semana, porém, as injúrias causadas não influenciaram no rendimento da fibra, indicando assim, a capacidade de recuperação da planta. No entanto, um intervalo seguro em que não

foram observados nenhuma injúria foi de 4 semanas antes da semeadura (EVERITT; KEELING, 2007).

Francischini et al. (2020) avaliou o efeito carryover de diversos herbicidas em mistura, incluindo a mistura de glyphosate + dicamba + saflufenacil. A soja foi avaliada aos 14 dias após a semeadura, realizada aos 0, 30, 60, 90 e 120 dias após a aplicação dos herbicidas. Aos 30 dias, foram encontradas injúrias significativas de 98%, e aos 60 dias 89 %, evidenciando o efeito *carryover* dos herbicidas e a alta sensibilidade da soja.

Injúrias causadas em plantas de soja por deriva de dicamba no estágio R5 e R6 podem chegar a aproximadamente 57 e 53%, respectivamente, podendo levar à má formação de cerca de 7 e 5%, para as respectivas situações. Injúrias visuais causadas em V4, V6 e R1 pela deriva do herbicida são pouco significativas, no entanto, quando observa-se vagens mal formadas os números vão de 5,5, 6 e 9%, podendo causar perdas significativas na produtividade (MCCOWN; BARBER; NORWSORTHY, 2017).

**Tabela 20 - Fitointoxicação de plantas de algodão (*Gossypium hirsutum* L.) e soja (*Glycine max* (L.)) aos 7 DAA em experimento realizado em casa de vegetação**

Dose (g e.a.)	Manejo		
	Palha	A+P	Solo
120	22,5 bA	2,5 bA	28,75 bA
240	76,25 aA	1,25 bB	82,5 aA
480	95,0 aA	82,5 aA	90,0 aA
720	96,75 aA	87,5 aA	93,75 aA
	C. V. %		26,29
	DMS Dose		31,67
	DMS Manejo		28,74

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

**Tabela 21 - Fitointoxicação de plantas de algodão (*Gossypium hirsutum* L.) e soja (*Glycine max* (L.)) aos 14 DAA em experimento realizado em casa de vegetação**

Dose (g e.a.)	Manejo		
	Palha	A+P	Solo
120	5,0 bB	32,5 bcB	82,5 aA
240	66,25 aA	27,5 cB	87,5 aA
480	96,75 aA	63,75 abB	100,0 aA
720	94,75 aA	94,75 aA	99,75 aA
C. V. %		25,23	
DMS Dose		34,08	
DMS Manejo		30,93	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

**Tabela 22 - Fitointoxicação de plantas de algodão (*Gossypium hirsutum* L.) e soja (*Glycine max* (L.)) aos 21 DAA em experimento realizado em casa de vegetação**

Dose (g e.a.)	Manejo		
	Palha	A+P	Solo
120	37,5 bB	27,5 bB	83,75 aA
240	75,0 aA	7,5 bB	86,25 aA
480	88,75 aA	82,0 aA	100,0 aA
720	82,5 aA	96,5 aA	100,0 aA
C. V. %		22,32	
DMS Dose		30,72	
DMS Manejo		27,88	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

**Tabela 23 - Fitointoxicação de plantas de algodão (*Gossypium hirsutum* L.) e soja (*Glycine max* (L.)) aos 28 DAA em experimento realizado em casa de vegetação**

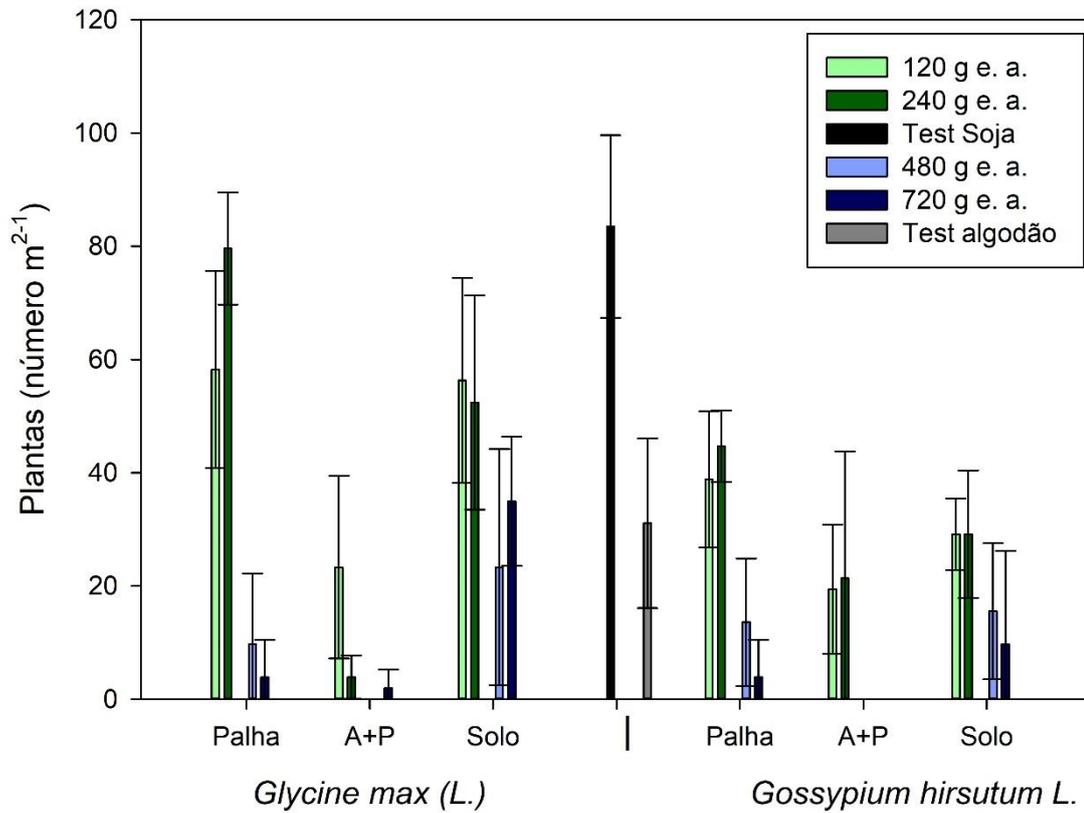
Dose (g e.a.)	Manejo		
	Palha	A+P	Solo
120	33,75 bB	7,5 bC	83,75 aA
240	85,0 aA	2,5 bB	77,5 aA
480	82,5 aA	84,0 aA	100,0 aA
720	85,0 aA	98,5 aA	100,0 aA
	C. V. %		18,50
	DMS Dose		24,66
	DMS Manejo		22,38

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

A densidade populacional de plantas de soja foi mais afetada negativamente com relação à densidade populacional de plantas de algodão. Apesar de o algodão apresentar um menor número de plantas de maneira geral, a redução da densidade populacional não foi tão expressiva quanto apresentada pela cultura da soja, como observa-se na Figura 21, sugerindo a maior sensibilidade da soja ao dicamba do que o algodão.

Um estudo realizado com as culturas da soja e algodão com intervalos de semeadura após a aplicação relatou significativa injúria causada na cultura da soja, mesmo com a aplicação sendo realizada 30 dias antes da semeadura. O autor relata que houve redução do stand de plantas de soja, enquanto para a cultura do algodão o stand não foi afetado, causando apenas algumas injurias visuais, porém com posterior recuperação das plantas (OSIPE, 2015).

**Figura 21 - Densidade de plantas (plantas/m<sup>2</sup>) das espécies *Glycine max* (L.) e *Gossypium hirsutum* L. em experimento realizado em casa de vegetação cidade de Botucatu - SP aos 28 dias após a aplicação**



## 5 CONCLUSÕES

O dicamba possui potencial de residual no solo e de causar efeitos mesmo quando aplicado em pré-emergência.

A quantidade de herbicida disponível no solo depende da presença ou ausência de palha, da precipitação após a aplicação e da degradação ao longo do tempo.

O método de extração utilizado foi funcional e capaz de permitir a análise de dicamba.

O controle de plantas daninhas foi influenciado pelas doses aplicadas, encontrando-se menores densidades de plantas daninhas nas doses de 480 e 720 g e.a. ha<sup>-1</sup> demonstrando a eficiência do herbicida e o amplo espectro de ação sobre folhas largas quando aplicado no solo.

As culturas da soja e do algodão sofrem influência do efeito residual do herbicida no solo, com maior sensibilidade apresentada pela cultura da soja.

## REFERÊNCIAS

- ADEGAS, F. S.; VARGAS, L.; GAZZIERO, D. L. P.; KARAM, D. **Impacto econômico da resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2017, 11p.
- AGOSTINETTO, D.; VARGAS, L.; GAZZIERO, D. L. P.; SILVA, A. A. Manejo de plantas daninhas. In: SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BOREM, A. **Soja do plantio a colheita**. Viçosa: Editora UFV, 2015, p. 231-255.
- AGUIAR, A. C. M.; PAIVA, M. C. G.; BARCELLOS JR., L. H.; SILVA, E. M. G.; SOUZA, P. S. R.; SILVA, A. A. Seleção de espécies indicadoras de resíduos de dicamba no solo. **Revista Agrarian**, v. 13, n. 48, p. 187-194, 2020.
- ALVES, G. S.; KRUGER, G. R.; CUNHA, J. P. A. R. Spray drift and droplet spectrum from dicamba sprayed alone or mixed with adjuvants using air-induction nozzles. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 6, p. 693-702, 2018.
- ANDRIGHETTI, M. S.; NACHTIGALL, G. R., QUEIROZ, S. C. N. de; FERRACINI, V. L.; AYUB, M. A. Z. Biodegradação de glifosato pela microbiota de solos cultivados com macieira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 5, p. 1643-1653, 2014.
- ANDRADE, A. S.; REIS, M. R.; DRUMOND, L. C. D.; CAIXETA, S. P.; RONCHI, C. P. Potencial de lixiviação de herbicidas em solos agrícolas na região do Alto Paranaíba (MG). **Pesticidas: ecotoxicologia e meio ambiente**, v. 21, p. 95-102, 2011.
- ARALDI, R.; VELINI, E. D.; GOMES, G. L. G. C. Performance of herbicides in sugarcane straw. **Ciência Rural**, v. 45, p. 2106-2112, 2015.
- BASF S. A. **Atectra® - Herbicida**. Disponível em: <[http://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos\\_restritos/files/documento/2020-10/atectra.pdf](http://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos_restritos/files/documento/2020-10/atectra.pdf)>. Acesso em: 20 jan. 2021.
- BISH, M. D.; FERRELL, S. T.; LERCH, R. N.; BRADLEY, K. W. Dicamba Losses to Air After Applications to Soybean under Stable and Nonstable Atmospheric Conditions. **Journal of Environmental Quality**, v. 48, n. 6, p. 1675-1682, 2019.
- BORELLA, J.; LANGARO, A. C.; SOUZA, A. S.; LEAL, J. F. L.; CARVALHO, G. S.; CHAPETA, A. C. O.; SARMENTO, R. R.; PINHO, C. F. Estresse em plantas pela aplicação de herbicidas. In: SANTOS, C. A.; RIBEIRO, J. C. **Desafios e Sustentabilidade no Manejo de Plantas**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019, p. 1-16.
- BURNSIDE, O. C.; LAVY, T. L. Dissipation of Dicamba. **Weeds**, v. 14, n. 3, p. 211-214, 1966.
- BYKER, H. P.; SOLTANI, N.; ROBINSON, D. R.; TARDIF, F. J.; LAWTON, M. B.; SIKKEMA, P. H. Control of Glyphosate-Resistant Horseweed (*Conyza*

Canadensis) with Dicamba Applied Preplant and Postemergence in Dicamba-Resistant Soybean. **Weed Technology**, v. 27, n. 3, p. 492-496, 2013.

CABRERA, L.; COSTA, F. P.; PRIMEL, E. G. Estimativa de risco de contaminação das águas por pesticidas na região sul do estado do RS. **Química Nova**, v. 31, n.8, p. 1982-1986, 2008.

CARBONARI, C. A. **Dinâmica e degradação em palha e solo e eficácia dos herbicidas indaziflam, isoxaflutole e metribuzin no controle de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar**. 2017. 199p. Tese (Livre-Docência em Matologia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2017.

CARBONARI, C. A.; COSTA, R. N.; BEVILAQUA, N. C.; PEREIRA, V. G. C.; GIOVANELLO, B. F.; OVEJERO, R. F. L.; PALHANO, M.; BARBOSA, H.; VELINI, E. D. Volatilization of Standalone Dicamba and Dicamba Plus Glyphosate as Function of Volatility Reducer and Different Surfaces. **Agriculture**, v. 10, n. 11, p. 495, 2020.

CARVALHO, L. B. **Herbicidas**. Lages: Edição do Autor, 2013, 62p.

CAVENAGHI, A. L.; CARBONARI, C. A. Tecnologia de aplicação de herbicidas para o controle de plantas daninhas. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. 2ª ed. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2019, p. 261-282.

CENTELO, L. N.; GUEVARA, M. D. F.; COCCONELLO, S. T.; SOUS, R. O. D.; TIMM, L. C. Textura do solo: conceitos e aplicações em solos arenosos. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v. 4, n. 1, p. 31-37, 2017.

COBB, A. H.; READE, J. P. H. **Herbicides and Plant Physiology**. Chichester: John Wiley & Sons, 2010, 286p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. **Observatório Agrícola**, v. 7, n. 12, p. 1-33, 2020.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. **Observatório Agrícola**, v. 8, n. 4, p. 1-85, 2021.

CONSTANTIN, J. Métodos de Manejo. In: OLIVEIRA JR., S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Ompipax Editora Ltda, 2011, p. 67-78.

CORREIA, N. M. A dinâmica dos herbicidas no ambiente e a sustentabilidade agrícola. In: LOPES, C. A.; PEDROSO, M. T. M. **Sustentabilidade e horticultura no Brasil**. 1ª ed. Brasília – DF: Embrapa, 2017, p. 317-340.

CORREIA, N. M. **Comportamento dos herbicidas no ambiente**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2018, 28p.

COSTA, E. M.; ZUCHI, J.; VENTURA, M. V. A.; PEREIRA, L. S.; CAETANO, G. B.; JAKELAITIS, A. Simulated drift of dicamba: effect on the physiological quality of soybean seeds. **Journal of Seed Science**, v. 42, p. 1-10, 2020.

CHRISTOFOLETTI, J. C. **Considerações sobre a deriva nas pulverizações agrícolas e seu controle**. São Paulo: Teejet South America, Bolertim Técnico, n. 4, 15p., 1999.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; DAMIN, V.; CARVALHO, S. J. P.; NICOLAI, M. **Comportamento dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP, 2008, 72p.

CTNBio – Comissão Técnica Nacional de Biossegurança. **Parecer Técnico N° 5832/2018**: Liberação comercial de organismo geneticamente modificado (RN5). Disponível em:  
<[http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/gmfp/docs/Parecer%20T%C3%A9cnico%20n%C2%BA%205832%20-%202018.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/gmfp/docs/Parecer%20T%C3%A9cnico%20n%C2%BA%205832%20-%202018.pdf)> Acesso em: 28 dez. 2020.

EPP, J. B.; ALEXANDER, A. L.; BALKO, T. W.; BUYSSE, A. M.; BREWSTER, W. K.; BRYAN, K.; DAEUBLE, J. F.; FIELDS, S. C.; GAST, R. E.; GREEN, R. A.; IRVINE, N. M.; LO, W. C.; LOWE, C. T.; RENG, J. M.; RICHBURG, J. S.; RUIZ, J. M.; SATCHIVI, N. M.; SCHMITZER, P. R.; SIDDALL, T. L.; WEBSTER, J. D.; WEIMER, M. R.; WHITEKER, G. T.; YERKES, C. N. The discovery of Arylex™ active and Rinskor™ active: Two novel auxin herbicides. **Bioorganic & Medicinal Chemistry**, v. 24, n. 3, p. 362-371, 2016.

EVERITT, J. D.; KEELING, W. Weed Control and Cotton (*Gossypium hirsutum*) Response to Preplant Applications of Dicamba, 2,4-D and Diflufenzopyr plus Dicamba. **Weed Technology**, v. 21, p. 506-510, 2007.

FERREIRA NETO, A.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; TRAVERS, J. Soja tolerante ao dicamba - tecnologia dicamba. In: MESCHÉDE, D. K.; GAZZIERO, D. L. P. **A ERA glyphosate: Agricultura, meio ambiente e homem**. Londrina: Midiograf II, 2016, p. 199-202.

FLINT, J. L.; BARRETT, M. Effects of Glyphosate Combinations with 2,4-D or Dicamba on Field Bindweed (*Convolvulus arvensis*). **Weed Science**, v. 37, n. 1, p. 12-18, 1989.

FRANCISCHINI, A. C.; CONSTANTIN, J.; MATTE, W. D.; OLIVEIRA JR., R. S.; MACHADO, F. G.; MOROTA, F. K. Carryover of herbicides used in cotton stalk control on soybean cultivated succession. **Planta Daninha**, v. 38, p. 1-12, 2020.

GAINES, T. A. The and dead: a new model for the essential role of ABA accumulation in synthetic auxin herbicide mode of action. **Journal of Experimental Botany**, v. 71, n. 12, p. 3383-3385, 2020.

GAZZIERO, D. L. P.; VOLL, E.; FORNAROLLI, D.; VARGAS, L.; ADEGAS, F. S. Efeitos da convivência do capim-amargoso na produtividade da soja. In: XXVIII Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas na ERA da Biotecnologia,

28, 2012, Campo Grande. **A ciência das plantas daninhas na era da biotecnologia: anais**. Campo Grande: SBCPD, p. 345-350.

GEBLER, L.; SPADOTTO, A. Comportamento ambiental dos herbicidas. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, p. 39-69, 2004.

GIOVANELLI, B. F.; BEVILAQUA, N. C.; COSTA, R. N.; OVEJERO, R. F. L.; VELINI, E. D.; CARBONARI, C. A. Eficácia de descontaminação de tanque com a mistura dicamba+glyphosate, sob dois sistemas de lavagem, e efeitos sobre plantas de soja e algodão. In: 1º Evento digital da Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 1, 2020. **Anais do I Evento Digital da Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas**. SBCPD.

GROSSMANN, K. Auxin herbicides: current status of mechanism and mode of action. **Pest Management Science**, v. 66, n. 2, p. 113-120, 2010.

HAHN, R. R.; BURNSIDE, O. C.; LAVY, T. L. Dissipation and Phytotoxicity of Dicamba. **Weed Science**, v. 17, n. 1, p. 3-8, 1969.

HALL, J. K.; MUMMA, R. O. Dicamba mobility in conventionally tilled and non-tilled soil. **Soil & Tillage Research**, v. 30, p. 3-17, 1994.

HEAP, I. **The International Herbicide-Resistant Weed Database**. Disponível em: <<http://www.weedscience.org/Pages/Country.aspx>>. Acesso em: 20 de jan. 2021.

HRAC – BR – Associação Brasileira de Ação a Resistência de Plantas Daninhas aos Herbicidas. **Classificação dos herbicidas quanto aos mecanismos de ação**. Disponível em: <[https://drive.google.com/file/d/1oMUqR\\_SML6M6hHeijLx9ZpswVF9UpKz-/view](https://drive.google.com/file/d/1oMUqR_SML6M6hHeijLx9ZpswVF9UpKz-/view)>. Acesso em: 28 dez. 2020.

INOUE, M. H.; OLIVEIRA JR, R. S. Resistência de Plantas Daninhas a Herbicidas. In: OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax Editora Ltda, 2011, p. 193-213.

JOHNSON, V. A.; FISHER, L. R.; JORDAN, D. L.; EDMISTEN, K. E.; STEWART, A. M.; YORK, A. 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.

JOHNSON, B.; YOUNG, B.; MATTHEWS, J.; MARQUARDT, P.; SLACK, C.; BRADLEY, K.; YORK, A.; CULPEPPER, S.; HAGER, A.; AL-KHATIB, K.; STECKEL, L.; MOEHNIG, M.; LOUX, M.; BERNARDS, M.; SMEDA, R. Weed Control in Dicamba-Resistant Soybeans. **Plant Management Network**, v. 9, n. 1, p. 1-23, 2010.

- KAH, M.; BEULKE, S.; BROWN, C. D. Factors Influencing Degradation of Pesticides in Soil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, p. 4487-4492, 2007.
- LOCKE, M. A.; BRYSON, C. T. Herbicide-soil interactions in reduced tillage and plant residue management systems. **Weed Science**, v. 45, p. 307-320, 1997.
- MACIEL, C. D. G.; VELINI, E. D. Simulação do caminhamento da água da chuva e herbicidas em palhadas utilizadas em sistemas de plantio direto. **Planta Daninha**, v. 23, p. 471-481, 2005.
- MACINNES, A. VaporGrip technology: How it works and its benefits. **Weed Science Society of America**, v. 45, p. 160, 2017.
- MANCUSO, M. A. C.; NEGRISOLI, E.; PERIM, L. Efeito residual de herbicidas no solo ("Carryover"). **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 2, p. 151-164, 2011.
- MARBLE, S. C. Herbicide and mulch interactions: A review of the literature and implications for the landscape industry. **Weed Technology**, v. 29, p. 341-349, 2015.
- MCCAULEY, C. L.; McADAM, S. A. M.; BHIDE, K.; THIMMAPURAM, J.; BANKS, J. A.; YOUNG, B. G. Transcriptomics in *Erigeron Canadensis* reveals rapid photosynthetic and hormonal responses to auxin herbicide application. **Journal of Experimental Botany**, v. 71, n. 12, p. 3701-3709, 2020.
- MCCOWN, M. S.; BARBER, L. T.; NORWSORTHY, J. K. Does Pod Location on Soybean Influence the Degree of Dicamba-like Symptoms Observed on Progeny? **Arkansas Soybean Research Studies**, v. 17, p. 132-136, 2017.
- MERCIER, H. Auxinas. In: KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan Ltda, 2008, p. 182-211.
- MITHILA, J.; HALL, J. C.; JOHNSON, W. G.; KELLEY, K. B.; RIECHERS, D. E. Evolution of Resistance to Auxinic Herbicides: Historical Perspectives, Mechanisms of Resistance, and Implications for Broadleaf Weed Management in Agronomic Crops. **Weed Science**, v. 59, n. 4, p. 445-457, 2011.
- MUELLER, T. C.; STECKEL, L. E. Dicamba volatility in humidomes as affected by temperature and herbicide treatment. **Weed Technology**, v. 33, n. 4, p. 541-546, 2019.
- NEPOMUCENO, M.; ALVES, P. L. C. A.; DIAS, T. C. S.; PAVANI, M. C. M. D. Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura da soja nos sistemas de semeadura direta e convencional. **Planta daninha**, v. 25, n. 1, p. 43-50, 2007.
- OLIVEIRA, M. F.; PRATES, H. T.; SANS, L. M. A. Sorção e hidrólise do herbicida flazasulfuron. **Planta daninha**, v. 23, n. 1, p. 101-113, 2005.

OLIVEIRA JR., R. S.; BACARIN, M. A. Absorção e Translocação de Herbicidas. In: OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. 22<sup>a</sup> ed. Curitiba: Omnipax Editora Ltda, 2011, p. 215-241.

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**. 22<sup>a</sup> ed. Curitiba: Omnipax Editora Ltda, 2011, p. 263-304.

OLIVEIRA JR., R. S. Mecanismos de Ação de Herbicidas. In: OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax Editora Ltda, 2011, p. 139-192.

OSIPE, J. B. **Espectro de controle, comportamento em misturas e intervalo de segurança para a semeadura de soja e algodão para os herbicidas e dicamba e 2,4-D**. 2015. 116f. Tese (Doutorado em Agronomia – Proteção de Plantas), Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2015.

OSIPE, J. B.; OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; TAKANO, H. K.; BIFFE, D. F. Spectrum of Weed Control with 2,4-D and Dicamba Herbicides Associated to Glyphosate or Not. **Planta Daninha**, v. 35, p. 1-12, 2017.

PENCKOWSKI, L. H. **Aspectos importantes no manejo de milho RR voluntário**. 2012. Disponível em: <<http://www.pioneersementes.com.br/Documents/Palestras%20Online/2014-Palestra-Online-Aspectos-Importantes-No-Manejo-De-Milho-RR-Voluntario.pdf>> Acesso em: 28 dez. 2020.

PEREIRA, L. S.; SOUSA, G. D.; COSTA, M. C.; OLIVEIRA, G. S.; VENTURA, M. V. A.; CRUZ, D. C.; JAKELAITIS, A. Controle de plantas daninhas tolerante ao glifosato com 2,4-D e dicamba. **Ciência Agrícola**, v. 18, n. 3, p. 22-28, 2020.

PITELLI, R. A.; DURIGAN, J. C. Terminologia para períodos de controle e de convivência das plantas daninhas em culturas anuais e bianuais. In: Congresso Brasileiro de Herbicidas e Plantas daninhas, 15, Belo Horizonte, 1984. **Resumos**. Belo Horizonte: SBHED, 1984.

PPDB - Pesticide Properties Database. **Dicamba**. University of Hertfordshire. Disponível em: <<http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/213.htm>>. Acesso em: 28 dez. 2020.

PRATA, F.; LAVORENTI, A. Comportamento de herbicidas no solo: influência da matéria orgânica. **Revista Biociências**, v.6, n. 2, p. 17-22, 2000.

RAETANO, C. G.; MOTA, A. A. B. Pontas de pulverização hidráulica. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. 2<sup>a</sup> ed. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2019, p. 67-90.

READE, J. P. H.; COBB, A. H. Herbicides: Modes of Action and Metabolism. In: NAYLOR, R. E. L. **Weed Management Handbook**. 9<sup>a</sup> ed. Bachory: Blackwell Publishing, 2002, p. 134-170.

REDDY, K. N.; LOCKE, M. A. Molecular properties as descriptors of octanol-water partition coefficients of herbicides. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 86, p. 389-405, 1996.

RODRIGUES, A. O.; CAMPOS, L. G.; CREECH, C. F.; FRITZ, B. K.; ANTUNIASSI, U. R.; KRUGER, G. R. Influence of Nozzle Type, Speed, and Pressure on Droplet Size and Weed Control from Glyphosate, Dicamba, and Glyphosate Plus Dicamba. **Pestic Formulation and Delivery Systems**, v. 38, p. 61-75, 2018.

ROESLER, G. D.; JONCK, L. C. G.; SILVA, R. P.; JERONIMO, A. V.; HIRATA, A. C. S.; MONQUERO, P. A. Decontamination methods of tanks to spray 2,4-D and dicamba and the effects of these herbicides on citrus and vegetable species. **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, n. 8, p. 1302-1309, 2020.

ROMAN, E. S.; VARGAS, L.; RIZZARDI, M. A.; HALL, L.; BECKIE, H.; WOLF, T. M.; **Como funcionam os herbicidas: da biologia a aplicação**. Passo Fundo: Gráfica Editora Berthier, 2005, 152p.

SBANO, A.; VOCTOR, J.; FERREIRA, R.; PECKLE, B. A. Otimização do método cromatográfico para quantificação do herbicida ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D). **Acta Scientia & Technicae**, v. 1, n. 2, p. 37-46, 2013.

SHANER, D. L. **Herbicide Handbook**. 10<sup>a</sup> ed. Lawrence: Weed Science Society of America, 2014, 513p.

SILVA, P. V.; MONQUERO, P. A. Influência da palha no controle químico de plantas daninhas no sistema de cana crua. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 12, n. 1, p. 94-103, 2013.

SILVA, D. R. O.; CUCHI, M. L.; SILVA, A. A. A.; NOVELLO, B. D. P.; BASSO, C. J. Simulated rainfall following the preplant application of 2,4-D and dicamba in soybean. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 50, p. 1-7, 2020.

SOARES, D. J.; OLIVEIRA, W. S.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Control of Glyphosate Resistant Hairy Fleabane (*Conyza bonariensis*) with Dicamba and 2,4-D. **Planta Daninha**, v. 30, n. 2, p. 401-406, 2012.

SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS – SBCPD. **Procedimentos para instalação, avaliação e análise experimentos com herbicidas**. Londrina: SBCPD, 1995. 42p.

SOLTANI, N.; OLIVEIRA, M. C.; ALVES, G. S.; WERLE, R.; NORSWORTHY, J. K.; SPRAGUE, C. L.; YOUNG, B. G.; REYNOLDS, D. B.; BROWN, A.; SIKKEMA, P. H. Off-target movement assessment of dicamba in North America. **Weed Technology**, v. 34, n. 3, p. 318-330, 2020.

SPADOTTO, C. A.; MARCONDES, D. A. S.; LUIZ, A. J. B.; SILVAS, C. A. R. Determinação do período crítico para prevenção da interferência de plantas

daninhas na cultura da soja: uso do modelo “Broken-stick”. **Planta daninha**, v. 12, n. 2, p. 59-62, 1994.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed Editora Ltda, 2017, 858p.

TAKANO, H. K.; OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; BIFFE, D. F.; FRANCHINI, L. H. M.; BRAZ, G. B. P.; RIOS, F. A.; GHENO, E. A.; GEMELLI, A. Efeito da adição do 2,4-D o glyphosate para o controle de espécies de plantas daninhas de difícil controle. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 12, n. 1, p. 1-13, 2013.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. **World Agricultural Production**. 2020. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>>. Acesso em: 28 dez. 2020.

VELINI, E. D. Interferências entre plantas daninhas e cultivadas. In: I Simpósio Sobre Herbicidas e Plantas Daninhas, 1, 1997, Dourados. **Resumos**. Dourados: Embrapa.

VELINI, E. D.; TROPALDI, L.; BRITO, I. P. F. S.; MARCHESI, B. B.; PUCCI, C.; CARBONARI, C. A. Inovações no Manejo de Plantas Daninhas na Cultura da Cana-de-Açúcar. In: BALDIN, E. L. L.; KRONKA, A. Z.; FUJIHARA, R. T. **Proteção Vegetal**. 2ª ed. Botucatu: FEPAF, 2015, p. 22-44.

VILLETTI, H. L.; ORSO, G.; ALBRECHT, L. P.; ALBRECHT, A. J. P.; MIGLIAVACCA, R. A. A história do herbicida glyphosate na evolução do Sistema Plantio Direto. In: 14º ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 14, 2014, Bonito. **Sistema Plantio Direto: Produzindo Água e Alimentando o Mundo**. Bonito: Embrapa.

WERLE, R.; OLIVEIRA, M. C.; JHALA, A. J.; PROCTOR, C. A.; REES, J.; KLEIN, R. Survey of Nebraska Farmers’ Adoption of Dicamba-Resistant Soybean Technology and Dicamba Off-Target Movement. **Weed technology**, v. 32, n. 6, p. 754-761, 2018.

WSSA – Weed Science Society of America. **Summary of Herbicide Mechanism of Action According to the Weed Science Society of America**. Disponível em: <<https://wssa.net/wp-content/uploads/WSSA-Mechanism-of-Action.pdf>>. Acesso em: 28 dez. 2020.