

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

FAGNER ANGELO DA SILVA E OLIVEIRA

**PONTAS DE PULVERIZAÇÃO E TAMANHO DE GOTAS NA DEPOSIÇÃO E
CONTROLE DE SOJA VOLUNTÁRIA**

Ilha Solteira

2024

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

FAGNER ANGELO DA SILVA E OLIVEIRA

**PONTAS DE PULVERIZAÇÃO E TAMANHO DE GOTAS NA
DEPOSIÇÃO E CONTROLE DE SOJA VOLUNTÁRIA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Unesp como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Área de Concentração: Sistemas de Produção

Prof. Dr. Evandro Pereira Prado
Orientador

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

O48p Oliveira, Fagner Angelo da Silva e.
Pontas de pulverização e tamanho de gotas na deposição e controle de soja voluntária / Fagner Angelo da Silva e Oliveira. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024
44 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2024

Orientador: Evandro Pereira Prado

Inclui bibliografia

1. Dose resposta. 2. Tecnologia de aplicação. 3. Glufosinato. 4. Deposição. 5. *Glycine max*.


Amanda Sertori dos Santos

Bibliotecária - CRB/8-9061
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao
Usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Pontas de pulverização e tamanho de gotas na deposição e controle de soja voluntária.

AUTOR: FAGNER ANGELO DA SILVA E OLIVEIRA

ORIENTADOR: EVANDRO PEREIRA PRADO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Agronomia, especialidade: Sistemas de Produção, pela Comissão Examinadora:



Documento assinado digitalmente

EVANDRO PEREIRA PRADO

Data: 29/10/2024 10:27:42-0300

Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. EVANDRO PEREIRA PRADO (Participação Virtual)

Departamento de Producao Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas - UNESP

Prof. Dr. VAGNER DO NASCIMENTO (Participação Virtual)

Departamento de Producao Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas - UNESP

Dr. RAFAEL DE SOUZA CHRISTOVAM (Participação Virtual)

Fd Drone

Ilha Solteira, 23 de agosto de 2024

DEDICATÓRIA

- *“Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, autor de meu destino, meu guia, socorro presente na hora da angústia, ao meu pai Wagner Antônio de Oliveira “In Memoriam”, minha mãe Silvana da Silva e Oliveira, e aos meus irmãos.”*
- *“Aos meus pais, irmãos, meu padrasto Prof. Dr. Miguel Ângelo Menezes e a toda minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.”*
- *“Ao Programa Pós graduação em Agronomia da Universidade Estadual Paulista, e às pessoas com quem convivi nesses espaços ao longo desses anos. A experiência de uma produção compartilhada na comunhão com amigos nesses espaços foram a melhor experiência da minha formação acadêmica.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por todo o caminho percorrido até aqui, ao meu orientador Prof. Dr. Evandro Pereira Prado, por todos os conhecimentos passados e adquiridos e os puxões de orelha, em busca de sempre alcançar a minha melhor versão. A Republica K-baret, por todos os momentos, as amizades e ensinamentos e a família que nos tornamos, sem esquecer de agradecer a minha família que sempre me apoiou, o meu muito obrigado.

Agradeço também a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por apoiar a pesquisa do meu trabalho.

“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001”

“Diante da vastidão do tempo e da imensidão do espaço, é um imenso prazer para mim dividir um planeta e uma época com você.” Carl Sagan..

RESUMO

Os fatores, tamanho de gotas e o volume de aplicação são relevantes em programas de aplicação de herbicidas, os quais podem afetar a cobertura e sua eficiência de controle, especialmente de herbicidas com ação não sistêmica. O presente tem como objetivo determinar o efeito de pontas de pulverização e tamanho de gotas nos depósitos da pulverização e controle em plantas de soja utilizando herbicidas não sistêmicos. O trabalho foi conduzido em condições de casa de vegetação da UNESP - FCAT no campus de Dracena, o delineamento experimental utilizado foi o delineamento inteiramente casualizado, sendo constituídos por quatro tratamentos (gotas fina, média, grossa e extremamente grossa), com 40 repetições por tratamento, sendo cada repetição constituída por uma planta. O segundo experimento foi realizado no delineamento experimental inteiramente casualizados, quatro tamanho de gotas (fina, media, grossa e extremamente grossa) e sete concentrações do herbicida com quatro repetições. Os tratamentos são os mesmos descritos no ensaio de deposição. Considerando D a dose recomendada dos herbicidas para o controle da soja voluntária, as concentrações dos herbicidas foram: 6D, 3D; D; 1/3D; 1/9D; 1/27D; e 0D (somente água). Os resultados obtidos foram submetidos a análise estatística descritiva e por meio de análises das curvas de dose-resposta dados de resposta das avaliações visual de fitotoxicidade e MSPA foram ajustados pelo modelo log-logístico. Foi utilizado o teste lack-of-fit para verificar se houve bom ajuste das curvas utilizando o modelo de três parâmetros sendo aceito quando o valor de P for $\geq 0,05$. Os valores de C50 foram comparados pelo intervalo de confiança a 95% de probabilidade. Os tratamentos foram comparados pelos valores da dose necessária para reduzir 50% da MSPA. Gotas finas, médias e grossas apresentaram os maiores valores de deposição e as menores uniformidades de distribuição em plantas de soja. O herbicida diquate e glufosinato foram influenciados pelo tamanho de gotas sendo os maiores valores de C50 observadas nos tratamentos com gotas maiores. Para o herbicida 2,4-D o tamanho de gota influenciou de maneira menos significativa na C50, porém o tratamento com gotas extremamente grossa apresentou o maior valor de C50.

Palavras-chave: dose resposta; tecnologia de aplicação; glufosinato, deposição, *Glycine max*.

ABSTRACT

The factors, droplet size and application volume are relevant in herbicide application programs, which can affect coverage and control efficiency, especially for herbicides with non-systemic action. The present objective is to determine the effect of spray tips and droplet size on spray deposits and control on soybean plants using non-systemic herbicides. The work was conducted under greenhouse conditions at UNESP - FCAT in the Dracena campus, The experimental design used was a completely randomized design, consisting of four treatments (fine, medium, coarse and extremely coarse droplet size), with 40 replications per treatment, with each replication consisting of one plant. The second experiment was carried out in a completely randomized experimental design, four droplet sizes (fine, medium, coarse and extremely coarse) and seven herbicide concentrations with four replications. The treatments are the same as those described in the deposition test. Considering D as the recommended dose of herbicides for controlling voluntary soybeans plants, the herbicide concentrations were: 6D, 3D; D; 1/3D; 1/9D; 1/27D; and 0D (water only). The results obtained were subjected to descriptive statistical analysis and through analysis of dose-response curves, response data from visual assessments of phytotoxicity and plant dry weight (DW) were adjusted by the log-logistic model. The lack-of-fit test was used to check whether there was a good fit of the curves using the three parameter model, being accepted when the P value was ≥ 0.05 . The C50 values were compared using the confidence interval at 95% probability. The treatments were compared based on the dose values needed to reduce DW by 50%. Fine, medium and coarse droplets class showed the highest deposition values and the lowest distribution uniformities on soybean plants. The herbicides diquat and glufosinate were influenced by droplet size, with the highest C50 observed in treatments with larger droplet sizes. For the 2,4-D herbicide, the droplet size had a less significant influence on the C50, but the treatment with extremely coarse droplets presented the highest C50 value.

Keywords: dose-response, application technology, glufosinate, deposition, *Glycine max*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Vasos com soja condicionamento em estufa agrícola (a) e aparelho utilizado para pulverização do experimentos (b).....	23
Figura 2	Plantas de soja no momento da aplicação no simulador (a), plantas de soja após a aplicação do corante (b) e plantas de soja após a lavagem (c).....	24
Figura 3	Concentrações das soluções contendo o corante para determinação da equação linear.....	25
Figura 4	Concentrações dos herbicida Glufosinato (a), diquate (b) e 2,4-D (c) utilizadas nos experimentos.....	27
Figura 5	Valores estimados de C50 do herbicida glufosinato de amônio pulverizados por diferentes tamanhos de gotas na redução da massa seca da parte aérea de plantas de soja. Barras representam o intervalo de confiança ($P < 0,05$).....	32
Figura 6	Valores estimados de C50 do herbicida diquate pulverizados por diferentes tamanhos de gotas na redução da massa seca da parte aérea de plantas de soja. Barras representam intervalo de confiança ($P < 0,05$).....	33
Figura 7	Valores estimados de C50 do herbicida 2,4-D pulverizados por diferentes tamanhos de gotas na redução da massa seca da parte aérea de plantas de soja. Barras representam intervalo de confiança ($P < 0,05$).....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Descrição dos tratamentos utilizados no experimento	24
Tabela 2	Condições meteorológicas no momento das pulverizações dos experimentos de deposição e dose resposta.....	29
Tabela 3	Valores de depósito em plantas de soja, expressos em microlitro por grama de massa seca da parte aérea ($\mu\text{L g}^{-1}$ MSPA) e porcentagem de coeficiente de variação, após pulverização com diferentes tamanhos de gotas.....	30
Tabela 4	Parâmetros da regressão para a relação entre doses do herbicida glufosinato de amônio pulverizados em plantas de soja por diferentes tamanhos de gotas.....	32
Tabela 5	Parâmetros da regressão para a relação entre doses do herbicida diquate pulverizados em plantas de soja por diferentes tamanhos de gotas.....	33
Tabela 6	Parâmetros da regressão para a relação entre doses do herbicida 2,4-D pulverizados em plantas de soja por diferentes tamanhos de gotas.....	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVO.....	14
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	15
3.1	Uso de defensivos	15
3.2	Pontas de pulverização	15
3.3	Tamanho de gotas	17
3.4	Deposição.....	18
3.5	Fitotoxicidade dos herbicidas em plantas de soja	19
3.6	Herbicidas de contato e sistêmico (diquat, glufosinato e 2,4-D).....	20
3.7	Tecnologia de Aplicação.....	21
3.8	Soja Voluntária.....	22
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	24
4.1	Descrição da área experimental	24
4.2	Experimento I. Quantificação dos depósitos da pulverização e uniformidade de distribuição.....	25
4.3	Experimento II. Curva dose-resposta na cultura da soja pulverizados com diferentes tamanhos de gotas com os herbicidas diquate, glufosinato e 2,4-D	29
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1	Experimento I. Quantificação dos depósitos da pulverização e uniformidade de distribuição.....	32
5.2	Experimento II. Curva dose-resposta na cultura da soja pulverizados com diferentes classe de gotas com os herbicidas diquate, glufosinato e 2,4-D	33
6	CONCLUSÃO.....	40
	REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

O uso indiscriminado e incorreto da técnica de aplicação de defensivos agrícolas, em conjunto ao manejo inadequado, revela em grandes perdas na produtividade e impactos ambientais. Assim deve ressaltar a importância de uma série de fatores e cuidados na escolha do produto a ser aplicado, como, o tamanho de gotas e o volume de aplicação, em programas de aplicação de herbicidas, os quais podem afetar a cobertura e sua eficiência de controle.

É bem difundido que pulverizações com gotas menores proporcionam uma cobertura melhor, entretanto são mais propensas as perdas por deriva aumentando as chances de contaminação em áreas não-alvo. Gotas de maiores diâmetros são menos propensas a deriva, mas oferece uma menor cobertura, podendo comprometer a eficiência de controle de herbicidas. O equilíbrio entre o tamanho de gota que minimize as perdas por deriva e ao mesmo tempo ofereça controle satisfatório é assunto de extrema relevância no controle de plantas daninhas em pulverização.

A utilização de herbicidas para o controle de plantas daninhas é prática usual na maioria dos agricultores. Com o uso descontinuado do herbicida paraquate (RDC nº 177, de 21 setembro de 2017), proibindo seu uso, alguns herbicidas surgem como possíveis substitutos como diquate, glufosinato de amônio, saflufenacil e 2,4 D, estes são herbicidas considerados a ser utilizados no controle de diversas daninhas e como dessecantes. Com isso, em conjunto da disponibilidade desses produtos no mercado local, é destacado uso e controle desses herbicidas para o controle do grande problema de soja voluntária nos sistemas de produções atuais.

Metodologias e técnicas a cada dia com melhores eficiências, ressalta a importância do aprofundamento de conhecer os tamanhos de gotas e doses dos herbicidas para uma melhor efetividade no ciclo dos sistemas agrícolas.

2 OBJETIVO

O estudo tem como objetivo determinar o efeito de pontas de pulverização, o tamanho de gotas nos depósitos da pulverização e controle em plantas de soja utilizando herbicidas.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Uso de defensivos

Os defensivos são produtos químicos sintéticos utilizados para matar insetos, larvas, fungos e carrapatos com a finalidade de controlar doenças causadas por esses vetores e regular o crescimento da vegetação em ambientes rurais e urbanos (Brasil, 2002). Esses produtos são utilizados em atividades agrícolas e não agrícolas. A agricultura preocupa-se com o setor produtivo, seja na limpeza e preparo da terra, na fase de monitoramento da lavoura, no armazenamento e beneficiamento dos produtos agrícolas, nas pastagens e plantações.

A entrada efetiva no mercado brasileiro de agrotóxicos ocorreu em meados de 1975 com a implantação da indústria e, embora o uso de agrotóxicos no país tenha sido elevado desde então, o consumo tem apresentado um nível médio, mais expressivo. Entre 2001 e 2008, o país tornou-se o maior consumidor mundial de tóxicos agrícolas (Silva, 2004).

Na agricultura é comum não só em nosso país, mas em todo o mundo, sendo utilizados para proteção das plantas contra determinadas pragas nas plantações, esses produtos acabam sendo mal utilizados, coloca em risco a contaminação, os riscos são altos e podem causar problemas a curto, médio e longo prazo, dependendo da molécula utilizada e período de exposição.

3.2 Pontas de pulverização

Uma das maneiras de maximizar a eficiência na aplicação e minimizar os riscos de contaminação provocados por defensivos, é utilizar tecnologia de aplicação adequada a cada tipo de situação, com base nas características inerentes à interação de fatores climáticos, biológicos e econômicos. Para isso, é necessário o emprego de todas as tecnologias que proporcionem a correta colocação do produto biologicamente ativo no alvo, em quantidade necessária, de forma econômica e com o mínimo de contaminação de outras áreas (Matuo *et al.*, 2001).

Dentre as várias técnicas de aplicação, as que se baseiam na pulverização hidráulica são as mais difundidas, devido à flexibilidade que oferecem em diferentes situações (Teixeira, 1997). Nesse tipo de pulverização, o componente de maior importância são as pontas de pulverização, cujas características determinam a

qualidade e eficiência na aplicação, como: tamanho de gota, porcentagem de cobertura do alvo, densidade de gotas, distribuição volumétrica, ângulo do jato de pulverização, entre outros (Miller; Elis, 2000)

A escolha das pontas de pulverização é baseada nas características técnicas destas e nas avaliações da penetração de gotas no dossel das plantas. A partir dessas características, realiza-se a escolha da ponta em função de fatores climáticos, formulação, do alvo biológico e sua localização.

O uso da tecnologia de aplicação visa em colocar a quantidade certa de ingrediente ativo no alvo, com a máxima eficiência e da maneira mais econômica possível, afetando o mínimo o ambiente (Matthews, 2002).

A uniformidade de distribuição volumétrica da calda, ao longo da barra de pulverização, é um dos fatores cruciais, o conhecimento do espectro de gotas produzidas pelas pontas de pulverização é imprescindível para aplicação de herbicidas. Segundo Womac *et al.* (1999), os fatores que influenciam o espectro de gotas produzidas por determinada ponta de pulverização são: vazão nominal, ângulo de descarga, pressão de operação, propriedades da calda e tipo de ponta de pulverização.

Cross *et al.* (2001) relatam que, em condições ótimas, gotas de pequeno diâmetro proporcionam maior densidade de gotas depositadas sobre o alvo. No entanto, em condições climáticas adversas, como temperatura elevada, baixa umidade relativa do ar e alta velocidade de vento, aumenta-se o risco de contaminação ambiental por deriva. Por outro lado, utilização de gotas com maior diâmetro diminui o risco de deriva, porém, devido ao seu peso, elas podem não aderir às superfícies das folhas e terminar no solo (Teixeira, 1997).

A eficiência da aplicação dos produtos fitossanitários contra os agentes causais de doenças nas culturas agrícolas, relacionada à menor contaminação ambiental e menor custo de produção, depende de diversos fatores, dentre eles, a escolha adequada do equipamento de pulverização, o estado e funcionamento de seus componentes e sua calibração (Siqueira; Antuniassi, 2011).

Controlar as características de aplicação é uma necessidade da agricultura moderna, com os avanços tecnológicos, faz-se necessário, minimizar os desperdícios de produto optando por uma tecnologia de aplicação mais eficiente, em consequência do aumento nos custos de produção agrícola, além do risco à saúde humana e ao meio ambiente (Dalmora *et al.*, 2013).

Uma ponta de pulverização não produz um único tamanho de gota. O tamanho utilizado na classificação da pulverização (fina < 200 μm , média entre 200-400 μm ou grossa > 400 μm), será o diâmetro da gota que divide o volume pulverizado em duas partes iguais, denominado de Diâmetro Mediano Volumétrico (DMV).

Entretanto, em toda pulverização, seja ela classificada como fina, média ou grossa, existirão gotas pequenas, médias e grandes, variando-se apenas a proporção entre elas (ANDEF, 2010). Segundo Vitória *et al.* (2014), a qualidade da aplicação de defensivos agrícolas utilizando pulverizadores somente é possível quando se dispõe de pontas de pulverização que propiciem distribuição volumétrica e espectro de gotas uniforme adequados.

Gotas muito grossas, não gera uma boa cobertura da superfície, tampouco boa uniformidade de distribuição e deposição. Essas gotas, em razão do peso, normalmente não se aderem à superfície da folha e terminam no solo (Silveira *et al.*, 2006).

Já no caso de gotas muito finas, geralmente, se consegue boa cobertura superficial e uniformidade de distribuição da calda, porém, essas gotas podem evaporar em condições de baixa umidade relativa ou serem levadas pela corrente de ar (Murphy *et al.*, 2000).

3.3 Tamanho de gotas

O objetivo da tecnologia de aplicação é colocar a quantidade certa de ingrediente ativo no alvo, com a máxima eficiência e da maneira mais econômica possível, afetando o mínimo o meio ambiente (Matthews, 2002). Entretanto, existem vários casos de aplicações ineficientes, com excesso ou déficit de ingrediente ativo no alvo, com sérios problemas para o ambiente e para a eficácia biológica do agrotóxico aplicado (Derksen; Breth, 1994).

Segundo(Machado, 2014), o espectro de tamanho de gotas, é medido através do Diâmetro Mediano Volumétrico (DMV), ou seja, uma medida que representa o diâmetro das gotas, dividindo o volume pulverizado em duas partes iguais, onde uma metade do volume é constituído por gotas menores que o DMV, e a outra metade por gotas maiores. Como o volume das gotas grandes é maior que o de gotas pequenas, o DMV se aproxima mais próximo do limite superior do diâmetro das gotas. O tamanho das gotas pode ser classificado em cores, conforme a Norma ASABE S572.1,

expressados em micrômetros (μm), essa norma define as categorias de Classificação do Espectro de Gotas como Extremamente Fina (EF) com $50 \mu\text{m}$, Muito Fina (MF) $<136 \mu\text{m}$, Fina (F) $136-177 \mu\text{m}$, Média (M) $177-218 \mu\text{m}$, Grossa (G) $218-349 \mu\text{m}$, Muito Grossa (MG) $349-428 \mu\text{m}$, Extremamente Grossa (EG) $428-622 \mu\text{m}$ e Ultra Grossa (UG) $>622 \mu\text{m}$.

3.4 Deposição

As quantificações dos agrotóxicos que atingem os alvos são feitas com metodologias onerosas ou sofisticadas. Como já relatado alguns pesquisadores têm utilizado sistema computadorizado para medir gotas. Normalmente, esse sistema utiliza-se de imagens de gotas, amostradas em cartões ou folhas de plantas, capturadas por uma câmera de vídeo ou scanners de computadores. As imagens são digitalizadas e os padrões dos depósitos são analisados por softwares específicos. Franz (1993) desenvolveu um sistema que utiliza scanner com resolução de $63,5 \text{ mm/pixel}$ e obteve medições precisas de manchas de gotas amostradas em papel Kromekote, dentro de uma faixa de tamanho entre 210 a 1.050 mm . Derksen & Jiang (1995) desenvolveram um sistema automático, computadorizado, para caracterização de depósitos de gotas de traçantes fluorescentes, em alvos artificiais ou folhas de plantas. Esse sistema foi fundamentado em um processamento morfológico de imagens de depósitos de gotas, descrito por Jiang & Derksen (1995). As imagens foram capturadas por uma câmera CCD monocromática, e o software utilizado permitiu medir manchas de gotas entre 5 e 1.000 mm .

A escolha de um método mais simples e mais barato deve considerar a disponibilidade de equipamentos comuns para análise, como, por exemplo, um microscópio para medir gotas de pulverização. O volume de cada gota pode ser expresso por $\pi D^3/6$, onde D é o diâmetro da gota e pode ser medido com microscópio. Conhecendo-se o diâmetro e o número de gotas que se depositam sobre uma área conhecida, é possível estimar o volume de líquido total presente nessa superfície. Por outro lado, conhecendo-se a concentração da calda de agrotóxico aplicada em algum tipo de alvo específico é também possível estimar o nível de resíduo presente na amostra.

O grande desperdício das atuais técnicas de aplicação tem estimulado a procura por alternativas tecnológicas para aumentar sua eficiência e a pulverização

eletrostática tem se revelado uma tecnologia promissora. Existe um grande interesse na redução dos impactos ambientais proporcionados pela agricultura, bem como uma forte demanda de alternativas que permitam a sua sustentabilidade.

3.5 Fitotoxicidade dos herbicidas em plantas de soja

A seletividade das plantas aos herbicidas é determinada por fatores distintos, muitos desses ligados às características dos herbicidas, como dose e formulação, além das características das plantas, como espécie, cultivar, absorção, translocação e metabolismo diferencial e o uso de protetores. (Oliveira JR.; Inoque, 2001) bem como às condições climáticas antes e depois da aplicação, as características do solo, como textura, pH e teor matéria orgânica (Blanco *et al.*, 2015) Desse modo, além da eficácia de controle sobre as plantas daninhas, os herbicidas utilizados devem ser seletivos para a cultura da soja, à medida que suas condições de uso podem causar distintos efeitos fitotóxicos, interferindo no desenvolvimento e no rendimento de grãos da cultura (Mongueiro, *et al.*, 2011).

O cultivo da soja (*Glycine max (L.) Merrill*) é de grande importância econômica no mercado mundial, e seus grãos são utilizados na agroindústria (produção de óleo vegetal e ração), na indústria química e alimentícia, e também na produção de biocombustíveis (Maciel *et al.*, 2020). A soja é originária do nordeste da Ásia (China e arredores) e é o centro da domesticação (Chung & Sinch, 2008), e sua disseminação leste-oeste é causada por viagens. O primeiro relatório sobre o cultivo da soja no Brasil veio da Bahia em 1982 (Mandarino, 2017).

Notasse que o controle químico tem vantagens sobre outros métodos de controle de ervas daninhas, mas isso só pode ser praticado com o uso de herbicidas seletivos para o cultivo. Segundo Gazziero *et al.*, (1997) os herbicidas devem apresentar seletividade para que os cultivares mais comuns dessa cultura sejam recomendados de forma clara e indiscriminada para uma determinada cultura. Esses autores definem seletividade como a capacidade de alguns herbicidas em remover ervas daninhas presentes nas lavouras sem comprometer a produtividade (Dan *et al.*, 2010).

3.6 Herbicidas de contato e sistêmico (diquat, glufosinato e 2,4-D)

Os herbicidas são compostos que têm atividade biológica importante para a produção de alimentos (Stephenson *et al.*, 2006). Na década de 1940, havia poucos herbicidas e a escolha entre eles era muito simples: ou se usava 2,4-D para folhas largas, ou um dos herbicidas não seletivos, tais como arsenato de chumbo ou sais. Na década de 1970, o desenvolvimento de herbicidas explodiu e atualmente a lista de herbicidas disponíveis no mercado é muito grande. Não somente o número de herbicidas aumentou, como também os tipos de herbicidas com os mesmos ingredientes ativos e com diferentes nomes comerciais (Lein *et al.*, 2004).

Saber como os herbicidas funcionam ajuda a definir como usar os produtos, a diagnosticar problemas em seu desempenho e sua relação com os sintomas de injúrias causados. Além disso, a seleção de herbicidas deve sempre levar em conta estratégias de manejo contra o desenvolvimento de resistência de plantas a grupos de herbicidas.

O mecanismo de ação é relacionado ao primeiro passo bioquímico ou biofísico no interior celular a ser inibido pela atividade herbicida. Esse processo inicial pode ser suficiente para matar as espécies sensíveis. Porém, normalmente, diversas outras reações químicas ou processos são necessários para se matar uma planta, cujo o somatório é denominado modo de ação. Os herbicidas geralmente inibem a atividade de uma enzima/proteína na célula e, como consequência, desencadeiam uma série de eventos que matam ou inibem o desenvolvimento da célula e do organismo (Vidal, 1997). Modo de ação é, portanto, o efeito final expresso na planta após a aplicação de um herbicida. Os herbicidas que possuem o mesmo mecanismo de ação apresentam modelos similares de translocação na planta e vão produzir sintomas de injúria semelhantes (Ross E Childs, 1996) e, por essa razão, podem ser classificados em uma família.

Uma quantidade surpreendente de famílias de herbicidas atua direta ou indiretamente em reações fotoquímicas. Esses herbicidas inibem o fluxo de elétrons no fotossistema II (FSII, e.g. triazinas, feniluréias e uracilas); a enzima glutamina sintetase na via de assimilação de nitrogênio (e.g. glufosinato); a protoporfirogênio oxidase (Protox) durante a biossíntese de clorofila (e.g. difenileteres), bem como inibem diretamente a biossíntese de pigmentos pela inibição de uma enzima de dessaturação (e.g. isoxazolidinona) ou indiretamente a biossíntese de pigmentos pela inibição de uma quinona envolvida na reação de dessaturação (e.g. isoxazoles); além

disso, capturam elétrons no fotossistema I (FSI, e.g. bupiridilos) (Hess, 2000). Outras famílias de herbicidas atuam na inibição de aminoácidos aromáticos, de aminoácidos de cadeia ramificada, da síntese de lipídeos; degradam a membrana celular e regulam o crescimento de plantas.

De forma geral, os herbicidas podem ser divididos em duas classes com respeito à forma de aplicação: ao solo e às folhas. Os herbicidas aplicados às folhas podem ser divididos, ainda, em herbicidas de contato, os quais exercem seu efeito somente onde entram em contato com as plantas, e herbicidas sistêmicos, que são absorvidos pela planta e translocados, tanto pelo floema, quanto pelo xilema, aos seus sítios de ação, que são, normalmente, as regiões de crescimento ativo, de reprodução ou de armazenamento (Gwynne; Murray, 1985).

3.7 Tecnologia de Aplicação

Os métodos de aplicação em uso atualmente podem ser agrupados em aplicações por via sólida, líquida ou gasosa, de acordo com o estado físico do material a ser aplicado. Dentre esses, o método predominante é aquele que usa a água como diluente. Entretanto, em algumas condições, as dificuldades na obtenção e no transporte de água podem conduzir à adoção de alternativas, como a aplicação por via líquida sem o uso de água ou aplicações por via sólida. A aplicação por via gasosa é bastante restrita, devido às dificuldades associadas ao processo (Ramos & Pio, 2003). As principais vias de aplicação dos defensivos agrícolas podem ser assim descritas (Christofolletti, 1992 e Ramos & Pio, 2003).

O sucesso da aplicação não depende somente de um bom equipamento e do defensivo usado de forma correta, depende também de fatores a serem considerados no campo, com orientação especializada. Quatro são os fatores a serem considerados como fundamentais para se obter pleno êxito na preservação das colheitas, mediante a neutralização do ataque de pragas e fitopatógenos e anulando a competição por parte das plantas daninhas (Lobo Júnior & Ozeki, 2002): Época adequada de aplicação, consiste em escolher o momento ideal para a aplicação de um defensivo, em razão das características do produto e das condições do campo, tais como: nível de infestação das pragas, patógenos ou plantas daninhas, estágio de infecção das doenças, estágio de desenvolvimento das plantas daninhas e condições climáticas. Boa cobertura Uma boa cobertura consiste em atingir o alvo biológico com uma boa uniformidade de distribuição, evitando sobreposições e faixas sem aplicação.

Dosagem correta fator indispensável na aplicação de qualquer defensivo. A manutenção da dose certa em todo o processo assegura economia, a dose excessiva, além de provocar danos à cultura pela fitotoxicidade, naturalmente eleva os custos, a dose correta assegura maior eficiência no controle, inclusive com a garantia de efeito residual do produto.

3.8 Soja Voluntária

A soja pode ser considerada voluntária quando cresce em local inadequado, prejudicando o desenvolvimento de outras culturas, mas esse processo não é fruto do acaso. O sistema de sucessão das culturas de soja e milho é comumente utilizado em regiões com ampla estação de crescimento, onde as condições de temperatura e umidade são favoráveis para o desenvolvimento e produção de ambas as culturas. Atualmente, cerca de 17 milhões de hectares de milho são semeados em sucessão à soja.

A fim de aproveitar as melhores condições do ambiente para a produção, o milho é semeado logo após a colheita da soja. Nestas situações, os grãos de soja, perdidos na colheita irão germinar e emergir assim que tiverem condições de umidade adequada, o que coincidirá com o início do desenvolvimento das plantas de milho. As plantas de soja presentes na área, junto ao milho, estabelecem a chamada “ponte verde”, ou seja, servirão como hospedeiras de pragas, como *Helicoverpa armigera*, ou mesmo doenças, como a ferrugem da soja.

Além de servir como “ponte verde”, a soja voluntária afetará a produtividade do milho. Trabalhos conduzidos por Rizzardi *et al.* (2012) indicam que o aumento na população da soja voluntária diminuiu significativamente o rendimento de grãos do milho, com redução de 22,8% com a elevação na densidade de zero para 32 plantas de soja m². Estas perdas causadas pela presença da soja voluntária, associadas à necessidade da manutenção do vazio sanitário naquelas regiões onde há exigência legal do mesmo, justificam a adoção de medidas para o seu controle.

Uma definição clássica para planta daninha é a de uma planta que se desenvolve em local indesejado ao homem. Portanto, as plantas voluntárias podem ser definidas como plantas daninhas e, como tal, podem provocar perdas por competição com as culturas agrícolas. Thomas *et al.* (2007) constataram que 5,25 plantas de milho voluntário na linha de algodão diminuiu a produção da cultura em

49%. Na sucessão soja com algodão, a presença de uma planta de soja voluntária por m⁻¹ diminuiu a produtividade do algodão em 14% (Lee *et al.*, 2009), enquanto que na situação inversa, uma planta de algodão m⁻¹ na linha de soja, diminuiu a produção da cultura em 6% (Tingle e Beach, 2003).

Para o manejo de plantas daninhas na cultura da soja, o controle químico é o método de controle mais utilizado, por se tratar de uma alternativa que apresenta praticidade, eficiência e rapidez na utilização, sendo basicamente utilizados dois momentos para aplicação de herbicidas: em pré e pós-semeadura (GAZZIERO, 2013).

De acordo com Pitelli (1985) os efeitos negativos ocasionados pela presença de plantas daninhas são resultantes de pressões ambientais diretas ou indiretas. Para a cultura da soja, conforme a espécie, a densidade e a distribuição da planta daninha na lavoura, os prejuízos podem ser significativos devido a redução da produtividade, dificuldades na operação de colheita e/ou comprometimento da qualidade e valor comercial do grão, principalmente devido ao aumento da umidade e presença de impurezas no produto colhido (Gazziero, 2013; Embrapa, 2014).

A partir da predominância de cultivares de soja resistentes ao glyphosate no Brasil, o manejo mais comum das plantas infestantes se realiza com a aplicação desse herbicida na dessecação antes da semeadura da soja e, em alguns casos, em mistura com outros pós-emergentes, como 2,4-D, chlorimuron-ethyl e flumioxazin. Após a emergência da cultura, a grande maioria dos produtores faz uso apenas do glifosato devido a facilidade de manejo proporcionada por esse herbicida (Minozzi *et al.*, 2014), principalmente por controlar várias espécies de plantas daninhas.

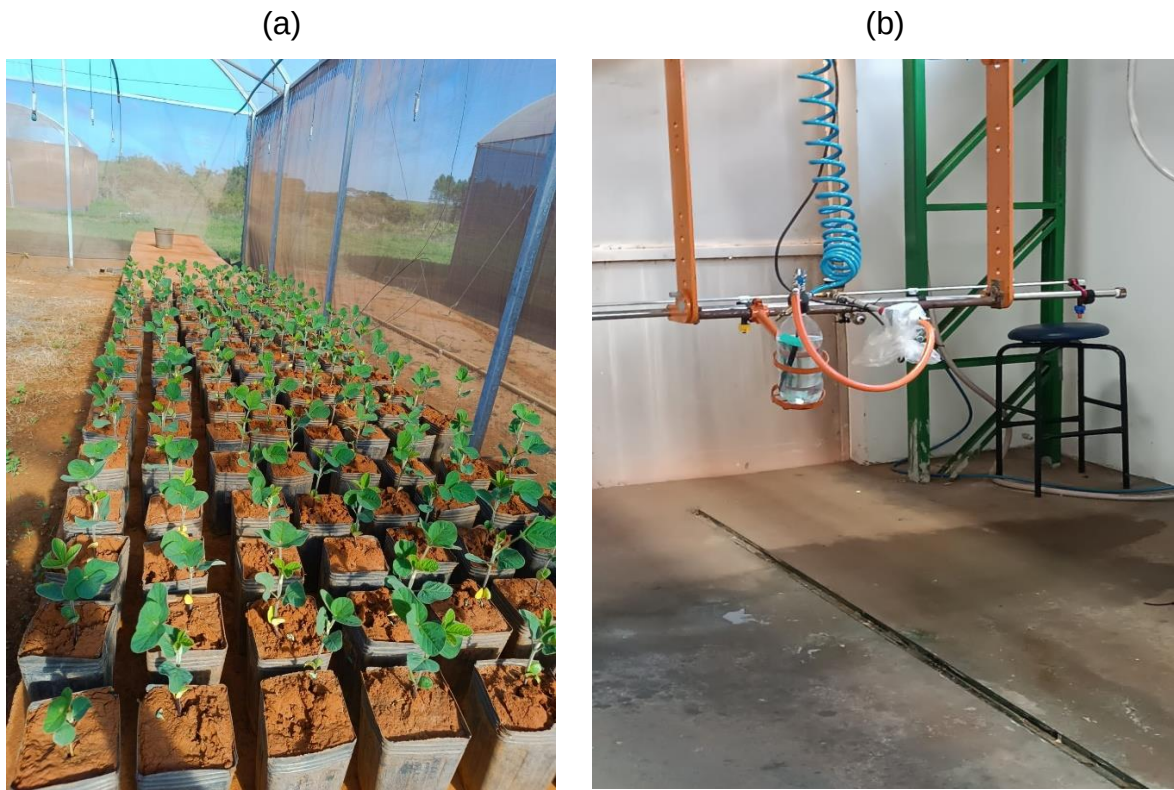
4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Descrição da área experimental

Por ocasião de controle de condições ambientais o experimento foi desenvolvido em condições de casa de vegetação, localizada na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Campus Dracena, localizada no Estado de São Paulo, na latitude 21°27" Sul, longitude 51°33" Oeste e com altitude média de 421 m de altitude (google earth, 2022).

Três sementes de soja do cultivar ICS 7019rr foram distribuídas por vaso a uma profundidade de 2 a 3 cm, com capacidade de 1 litro, contendo três partes de solo de barraco e uma parte de substrato da marca comercial Carolina Soil, composto por turfa, vermiculita, casca de arroz carbonizada, resíduo orgânico. Após a emergência das plântulas realizou o desbaste permanecendo assim, uma planta por vaso. Durante o desenvolvimento, foram feitas as irrigações diárias via microaspersão conforme necessidade e demanda hídrica da cultura. Aos 15 dias após a emergência (DAE) das plântulas foi realizado a suplementação nutricional com 1,0 g de fertilizante mineral formulado (04 14 08) por vaso (Figura 1a). As plantas foram submetidas aos tratamentos (deposição e fitotoxidade) quando estavam no estágio V2-3.

Figura 1 – Vasos com soja condicionamento em estufa agrícola (a) e aparelho utilizado para pulverização do experimentos (b).

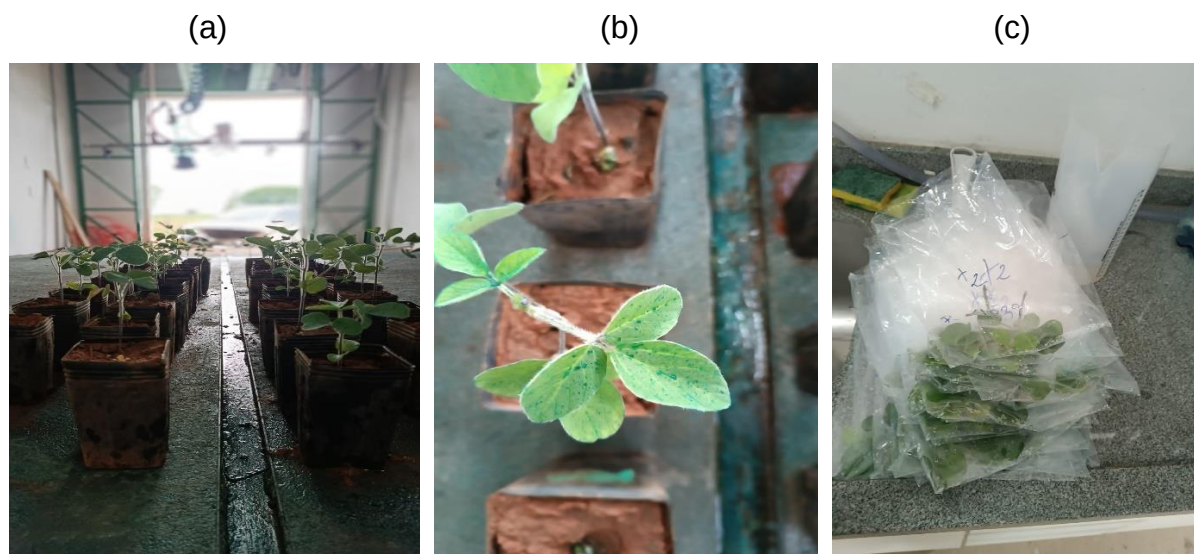


Fonte: próprio autor.

4.2 Experimento I. Quantificação dos depósitos da pulverização e uniformidade de distribuição

Os depósitos de pulverização foram analisados no delineamento inteiramente casualizado (DIC) com 4 tratamentos (gota fina, média, grossa e muito grossa) e 40 repetições por tratamento (Figura 2a). A descrição dos tratamentos utilizados no experimento pode ser visualizada na Tabela 1. Para maior confiabilidade dos dados o experimento foi realizado em duplicata.

Figura 2 - Plantas de soja no momento da aplicação no simulador (a), plantas de soja após a aplicação do corante (b) e plantas de soja após a lavagem (c).



Fonte: próprio autor.

Tabela 1 – Descrição dos tratamentos utilizados no experimento.

Tratamento	Modelo da ponta	Tamanho de gota	Pressão (kPa)	Tipo jato	Fabricante
T1	ADGA01	Fina	200	plano padrão anti-deriva	Magnojet
T2	LAD 11001	Média	200	plano padrão	Solcera
T3	ST01	Grossa	200	plano inclinado	Magnojet
T4	RDA 11001	Extremamente grossa	200	plano com indução de ar	Solcera

Fonte: próprio autor.

As pulverizações foram realizadas pelo pulverizador estacionário alocado no laboratório de Tecnologia de Aplicação no Campus da Unesp de Dracena, equipado com 4 bicos espaçados em 0,50 m. A pulverização foi realizada na velocidade de 5,0 km. h⁻¹, aplicando um volume de 77 L ha⁻¹ para todos os tratamentos (Figura 1b). Lembrando que a cada tratamento foram realizadas as calibrações no pulverizador.

Os depósitos da pulverização foram determinados por meio do marcador corante alimentício Azul Brilhante FCF (Brastókio®) na concentração de 2,0 g L⁻¹ em mistura com óleo mineral a 0,5%. A associação do marcador com o óleo foi feita em função

de possíveis modificações físico-químicas, decorrente da interação dos produtos constituintes da calda de pulverização, as quais poderiam influenciar na deposição da pulverização.

Após a aplicação dos tratamentos e secagem da calda, as plantas foram cortadas rente ao colo com tesouras, em seguida, acondicionadas em sacos plásticos e lavadas com 100 mL de água deionizada para remoção do corante (Figura 2b). A solução contendo o corante foi alocada em potes plásticos com capacidade de 70 mL e mantidas no escuro (Figura 2c). Após a lavagem, as plantas foram secadas, colocadas em sacos de papel e acondicionadas em estufa de circulação e renovação de ar para secagem a 65 °C. Após 72 horas, as plantas foram removidas da estufa e pesadas em balança analítica (Marten, modelo AY220)., determinando-se a massa seca da parte aérea (MSPA)

A quantidade do corante depositada nas plantas foi quantificada em espectrofotômetro (Bioespectro, modelo SP 220) no comprimento de onda de 630 nm (Prado *et al.*, 2015; Nair e Foster, 2019; Godinho Jr., 2020). Com as concentrações prévias já conhecidas do corante de 10; 5; 2,5; 1,25; 0,9375; 0,625 e 0,3125 mg L⁻¹ foi estabelecida a equação linear ($[\text{corante}] = 8,1617 \times \text{Abs} - 0,2501$; $R^2 = 0,9992$) que permitiu transformar os valores de absorbância em concentração do corante em mg L⁻¹ (Figura 3).

Figura 3 – Concentrações das soluções contendo o corante para determinação da equação linear.



Fonte: próprio autor.

De posse dos valores de concentração do corante na calda, concentração do corante detectada no espectrofotômetro e volume de diluição da amostra, foi possível estabelecer o volume retido pelo alvo através da Equação 1:

$$V1 = \frac{C2 \times V2}{C1} \dots\dots\dots [1]$$

Em que:

C1: concentração inicial na calda de aplicação (mg L^{-1});

V1: volume retido pelo alvo (mL);

C2: concentração detectada no espectrofotômetro (mg L^{-1});

V2: volume de diluição da amostra (mL).

O volume retido em cada planta em mL foi transformado para microlitro e dividido pela sua respectiva MSPA, obtendo-se assim a quantidade em $\mu\text{L g}^{-1}$ de MSPA. Os dados de deposição foram submetidos à análise de variância pelo teste F e suas médias comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Devido a não diferença significativa entre as duplicatas ($P < 0,01$), os dados foram interpolados e apresentados de forma combinada.

A uniformidade de distribuição dos depósitos da pulverização nas plantas de soja foram analisadas em função do coeficiente de variação (CV) de cada tratamento (Miranda-fuentes *et al.*, 2015; MUSIU *et al.*, 2019) de acordo com a equação 2:

$$CV = \frac{DP}{\bar{x}} \times 100 \dots \dots \dots (2)$$

$$DP = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(xi - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

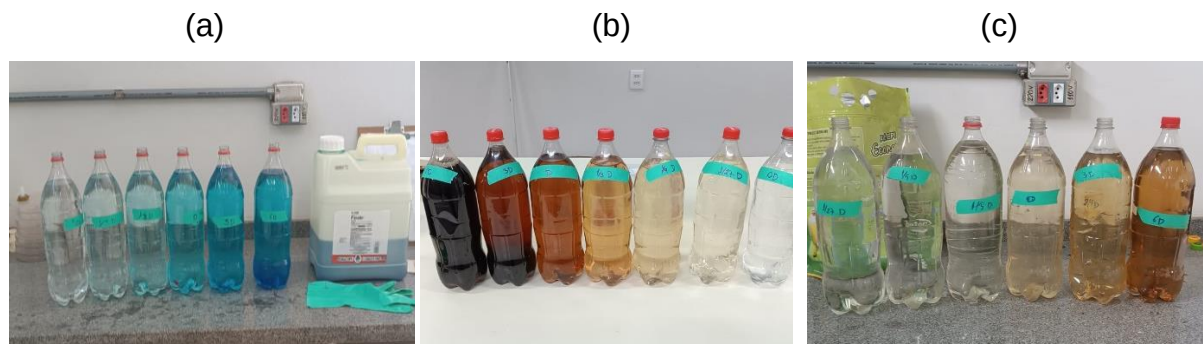
Onde, *DP*: desvio padrão dos valores de deposição, *xi*: valor de deposição de cada amostra (planta), $\bar{x}$: valor médio de deposição e *n*: número de amostra em cada tratamento.

4.3 Experimento II. Curva dose-resposta na cultura da soja pulverizados com diferentes tamanhos de gotas com os herbicidas diquate, glufosinato e 2,4-D

O experimento foi realizado no delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 4×7 com 4 repetições, sendo 4 tamanhos de gotas (fina, média, grossa e muito grossa) e 7 concentrações dos herbicidas.

As doses utilizadas dos herbicidas foram: 6D, 3D; 1D; 1/3D; 1/9D; 1/27D; e 0D, onde D é a dose comercial recomendada pelo fabricante do produto para controle da soja voluntária, de acordo com cada herbicida utilizado, no diquate e glufosinato, a dose comercial para o controle é $2,0 \text{ L.ha}^{-1}$, conseqüentemente as doses utilizadas foram nas seguintes concentrações: $12,0 \text{ L.ha}^{-1}$, $6,0 \text{ L.ha}^{-1}$, $2,0 \text{ L.ha}^{-1}$, $0,66 \text{ L.ha}^{-1}$, $0,22 \text{ L.ha}^{-1}$, $0,075 \text{ L.ha}^{-1}$ e $0,0 \text{ L.ha}^{-1}$, no herbicida 2,4 D a dose comercial é $1,5 \text{ L.ha}^{-1}$, seguindo as concentrações utilizadas, as doses foram: $9,0 \text{ L.ha}^{-1}$, $4,5 \text{ L.ha}^{-1}$, $1,5 \text{ L.ha}^{-1}$, $0,5 \text{ L.ha}^{-1}$, $1,66 \text{ L.ha}^{-1}$, $0,055 \text{ L.ha}^{-1}$ e $0,0 \text{ L.ha}^{-1}$ (Figura 4).

Figura 4 – Concentrações dos herbicida Glufosinato (a), diquate (b) e 2,4-D (c) utilizadas nos experimentos.



Fonte: próprio autor.

A pulverização foi realizada com o mesmo equipamento e mesma condição operacional usada no experimento de deposição, para avaliação dos depósitos da pulverização. Após a aplicação os vasos foram acondicionados em estufa agrícola sem irrigação durante 18 horas. Posteriormente, foram irrigados diariamente conforme a demanda hídrica das plantas.

Aos 28 dias após a aplicação (DAA), as plantas alicadas como tratamentos, foram colhidas por corte efetuado com tesoura, próximo ao colo, identificadas, colocadas em saco de papel e transportadas para câmara de circulação de ar forçado, regulada a 65°C por 72 horas para determinação da MSPA em balança analítica (Marten, modelo AY220 precisão 0,1 mg).

Os dados de MSPA foram corrigidos para valores percentuais de redução comparado com o tratamento testemunha de acordo com a Equação 3:

$$PR = \left(\frac{MC-T}{MC} \right) \times 100 \dots\dots\dots[3]$$

Onde:

PR: percentual de redução da MSPA;

MC: valor médio de MSPA no tratamento testemunha;

T: MSPA individual das plantas que foram tratadas com herbicida

Os dados de fitotoxicidade visual e MSPA foram analisados pelo teste F sobre a análise da variância, com o objetivo de detectar a significância da interação fatorial. Quando significativos, os níveis do fator dose do herbicida foram analisados com o emprego da regressão não linear de quatro parâmetros do tipo log-logístico de três parâmetros, segundo o modelo proposto por Ritz *et al.* (2015) na Equação 4:

$$Y = \frac{D}{1+\exp\{b[\log(X)-\log(C50)]\}} \dots\dots\dots[4]$$

Em que:

Y: resposta da planta;

X: dose do herbicida (e.a. ha⁻¹);

D: limite superior da curva;

b: declividade da curva;

C50: dose necessária para reduzir 50% da MSPA seca ou proporcionar 50% de fitotoxicidade visual em relação à testemunha. As análises das curvas de dose-resposta e os valores de C50 foram determinados utilizando o pacote *drc* no software R® (R Development Core Team, 2017). A função ANOVA foi utilizada para realizar o teste

de falta de ajuste (*lack-of-fit*) e o valor de $P > 0,05$ indicando descrição aceitável dos dados pelo modelo não linear ajustado (Ritz e Streibig, 2012; Ritz *et al.*, 2015).

Os dados meteorológicos de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento foram registrados durante as quatro aplicações realizadas e os valores podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 – Condições meteorológicas no momento das pulverizações dos experimentos de deposição e dose resposta.

Dados meteorológicos	ED ¹	ED ²	DRG	DRD	DS2
Temperatura (°C)	31±3	30±3	31±2	33±2	31±2
Umidade Relativa (%)	70±5	60±5	50±5	60±5	59±5
Data aplicação	08/12/22	07/03/23	17/01/23	18/01/23	18/01/23

ED¹: Primeiro ensaio de deposição/ ED²: Segundo ensaio de deposição/ DRG: Dose resposta de Glufosinato sal de amônio/ DRD: Dose resposta de Diquate/ DRS: Dose Resposta com 2,4D

Fonte: próprio autor.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Experimento I. Quantificação dos depósitos da pulverização e uniformidade de distribuição

Os valores de deposição e uniformidade de distribuição (CV) em plantas de soja proporcionados pela pulverização com diferentes tamanhos de gotas estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores de depósito em plantas de soja, expressos em microlitro por grama de massa seca da parte aérea ($\mu\text{L g}^{-1}$ MSPA) e porcentagem de coeficiente de variação, após pulverização com diferentes tamanhos de gotas.

Tamanho de gota	Depósito ($\mu\text{L g}^{-1}$ MSPA)	Coeficiente de variação (%)
Fina	89,7 a	42,0
Média	86,1 a	28,7
grossa	90,9 a	38,1
muito grossa	56,9 b	39,4

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: próprio autor.

Maiores valores de deposição nas plantas foram evidenciados nas pulverizações com gotas finas, média e grossa diferindo significativamente ($F: 22,29; P < 0,001$) do tratamento com gotas muito grossas (Tabela 3). Silva *et al.* (2023) reportaram valores semelhantes de deposição em plantas de soja quando a pulverização foi realizada, corroborando com os resultados da Tabela 3.

Houve diferença significativa ($F: 22,29; P: 0,001; CV: 37,78\%$) entre os tamanhos de gotas para os depósitos da pulverização nas plantas (Tabela 3). Além disso, Tokura *et al.* (2013), não verificaram diferença significativa nos depósitos da pulverização em planta entre gotas finas, médias e muito grossas pulverizadas por pontas de jato plano.

Uma boa uniformidade de distribuição da calda de herbicida nas plantas daninhas é de fundamental importância para maior efetividade de controle. Deposição não uniforme implica em plantas que recebem menor e maior quantidade de depósitos. Menor quantidade de herbicida depositado nas plantas pode resultar em

falhas no controle e, em contrapartida, quantidade acima da dose desejada acarretará desperdício de produtos e aumento do potencial de impacto ambiental.

Costa *et al.* (2008) também constataram menor uniformidade e maior deposição da calda em plantas, quando pulverizadas com pontas de indução de ar proporcionando gotas extremamente grossas. A uniformidade da deposição da calda de pulverização destaca-se como fator importante no desempenho dos produtos fitossanitários, principalmente quando o modo de ação do produto é por contato, os quais exigem maior área de cobertura do alvo (Rodrigues-Costa *et al.*, 2012).

Vale ressaltar que o coeficiente de variação apesar de grande números de repetições foi elevado, caracterizando mesmo com as plantas em mesmo tamanho, calibração do aparelho, acareta sempre em uma planta receber um pouco a mais de gotas em sua superfície foliar.

5.2 Experimento II. Curva dose-resposta na cultura da soja pulverizados com diferentes classe de gotas com os herbicidas diquate, glufosinato e 2,4-D

De acordo com o teste *lack-of-fit* ($P = 0,876$) não foi significativo para as curvas de redução da MSPA de soja quando utilizado o herbicida glufosinato (Tabela 4), indicando que o modelo proposto se ajustou de forma satisfatória (Ritz e Streibig, 2012; Ritz e Streibig, 2015).

As estimativas dos parâmetros obtidos da regressão log-logística que descrevem a redução da MSPA em plantas de soja quando submetidas a aplicação do herbicida glufosinato em diferentes tamanhos de gotas estão descritas na Tabela 4. Verifica-se que o tratamento com as gotas grossas foi o que mais reduziu a MSPA das plantas de soja (95,46).

Tabela 4 – Parâmetros da regressão para a relação entre doses do herbicida glufosinato de amônio pulverizados em plantas de soja por diferentes classe de gotas.

Tratamentos	C50 (g i.a. ha ⁻¹)	b	D	Lack-of-fit P-valores	P-valores (C50)
fina	22,70	-2,40	86,09	0,876	< 0,001
média	26,94	-1,02	92,98	0,876	< 0,001
grossa	33,61	-1,98	95,46	0,876	< 0,001

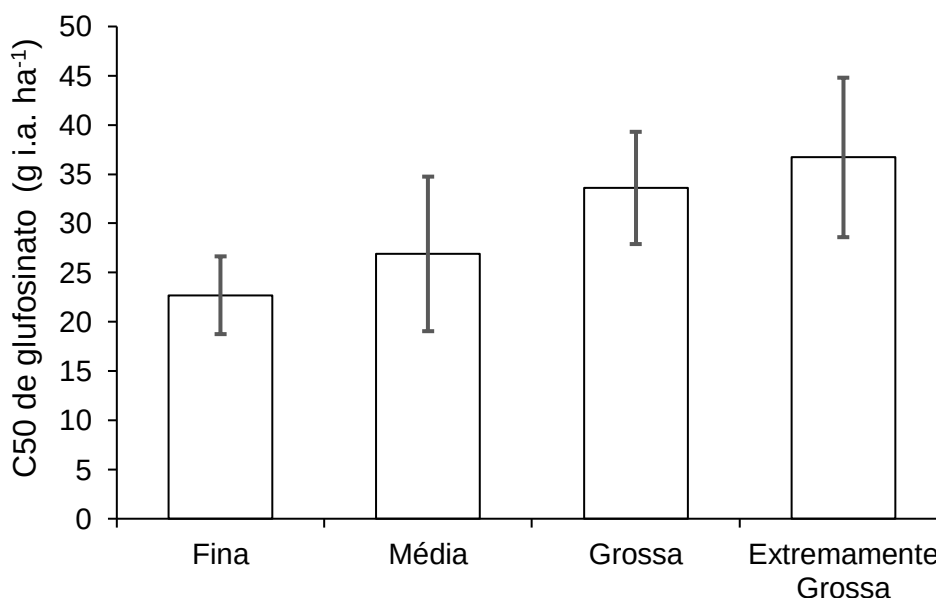
muito grossa	36,73	-1,39	93,41	0,876	< 0,001
--------------	-------	-------	-------	-------	---------

C50: Dose necessária para reduzir 50% da massa seca da parte aérea. b declividade da curva. D limite superior da curva.

Fonte: próprio autor.

A Figura 5 ilustra os valores estimados de C50 do herbicida glufosinato de amônio pulverizados por diferentes tamanhos de gotas na redução da massa seca da parte aérea de plantas de soja. Verificasse que os tratamentos pulverizados com gota fina, apresentou menor valor de C50 comparados aos tratamentos com gotas grossa e extremamente grossas, indicando melhor eficiência na redução da MSPA de soja para herbicida glufosinato. Embora não haja diferença significativa pelo intervalo de confiança, verifica-se uma tendencia de aumento na C50 a medida em que aumenta o tamanho de gotas.

Figura 5 – Valores estimados de C50 do herbicida glufosinato de amônio pulverizados por diferentes tamanhos de gotas na redução da massa seca da parte aérea de plantas de soja. Barras representam o intervalo de confiança ($P < 0,05$).



Fonte: próprio autor.

As estimativas dos parâmetros obtidos da regressão log-logística que descrevem a redução da MSPA em plantas de soja quando submetidas a aplicação do herbicida diquate em diferentes tamanhos de gotas estão descritas na Tabela 5. Verifica-se que o teste *lack-of-fit* ($P = 0,260$) não foi significativo para as curvas de

redução da MSPA de soja quando utilizado o herbicida diquate, indicando que o modelo proposto se ajustou de forma satisfatória (Tabela 5).

Tabela 5 – Parâmetros da regressão para a relação entre doses do herbicida diquate pulverizados em plantas de soja por diferentes tamanhos de gotas.

Tratamentos	C50 (g i.a. ha ⁻¹)	b	D	Lack-of-fit P-valores	P-valores (C50)
fina	19,43	-0,78	99,21	0,260	< 0,001
média	37,14	-1,34	93,46	0,260	< 0,001
grossa	43,07	-1,53	93,36	0,260	< 0,001
muito grossa	58,09	-1,39	58,09	0,260	< 0,001

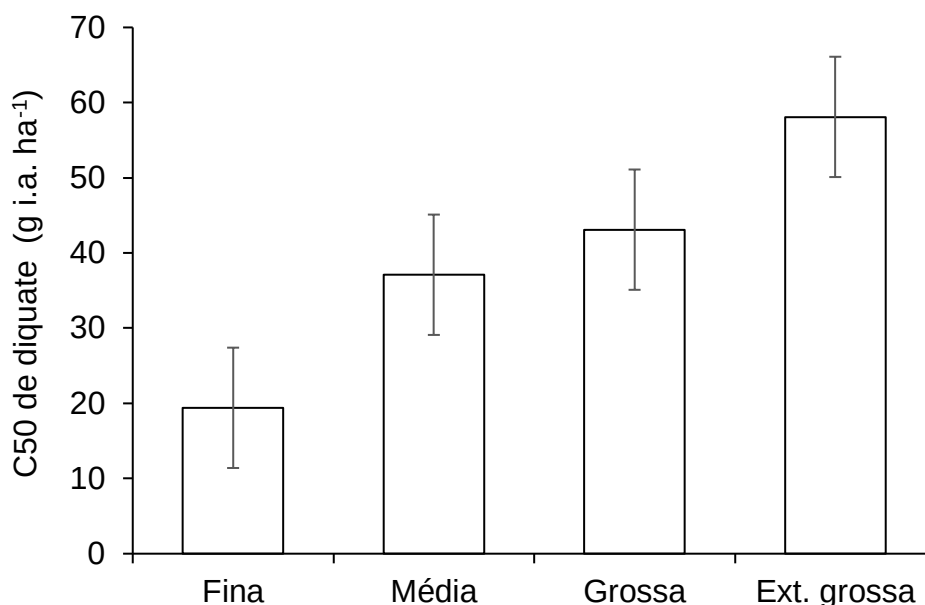
C50: Dose necessária para reduzir 50% da massa seca da parte aérea. b: declividade da curva. D: limite superior da curva.

Fonte: próprio autor.

Na Figura 6, analisando os valores de C50 é possível verificar que o fator tamanho de gota influenciou diretamente na redução da MSPA das plantas de soja. Assim como verificado para o herbicida glufosinato, a C50 para o herbicida diquate foi aumentando com o aumento do tamanho das gotas.

O tratamento com gotas finas apresentou a maior C50 diferindo significativamente pelo intervalo de confiança dos demais tratamentos. O tratamento com gotas médias apresentou C50 significativamente menor comparada ao tratamento com gota extremamente grossa. Embora os melhores resultados em termos de fitotoxicidade foram observados para os tratamentos com gotas finas, cuidados devem ser tomadas com aplicações com essa classe de gotas visto serem mais propensas à deriva (Ferguson *et al.*, 2015; Ferguson *et al.*, 2016; Balsari *et al.*, 2019).

Figura 6 – Valores estimados de C50 do herbicida diquate pulverizados por diferentes tamanhos de gotas na redução da massa seca da parte aérea de plantas de soja. Barras representam intervalo de confiança ($P < 0,05$).



Fonte: próprio autor.

No geral, os maiores valores de C50 para os herbicidas glufosinato e diquate foram aumentando à medida em que aumentou o tamanho das gotas. Esse aumento da C50 provavelmente está relacionado à menor quantidade da calda depositada nas plantas de soja para as gotas extremamente grossas reduzindo a performance dos herbicidas. Esse fato ainda é reforçado pelo modo de ação de contato dos herbicidas glufosinato e diquate reforçando a necessidade da boa cobertura sobre as plantas.

O teste de *lack-of-fit*, não foi significativo ($P=0,121$) para as curvas de redução da MSPA de soja quando utilizado o herbicida 2,4-D, indicando que o modelo proposto se ajustou de forma satisfatória (Tabela 6). As estimativas dos parâmetros obtidos da regressão log-logística que descrevem a redução da MSPA em plantas de soja quando submetidas a aplicação do herbicida diquate em diferentes tamanhos de gotas estão descritas na Tabela 6.

Tabela 6 – Parâmetros da regressão para a relação entre doses do herbicida 2,4D pulverizados em plantas de soja por diferentes tamanhos de gotas.

Tratamentos	C50 (g i.a. ha ⁻¹)	b	D	Lack-of-fit P-valores	P-valores (C50)
finas	74,4	-1,89	81,51	0,121	< 0,001
média	71,5	-5,86	83,19	0,121	< 0,001
grossa	69,7	-5,25	87,91	0,121	< 0,001
muito grossa	87,1	-4,5	62,98	0,121	< 0,001

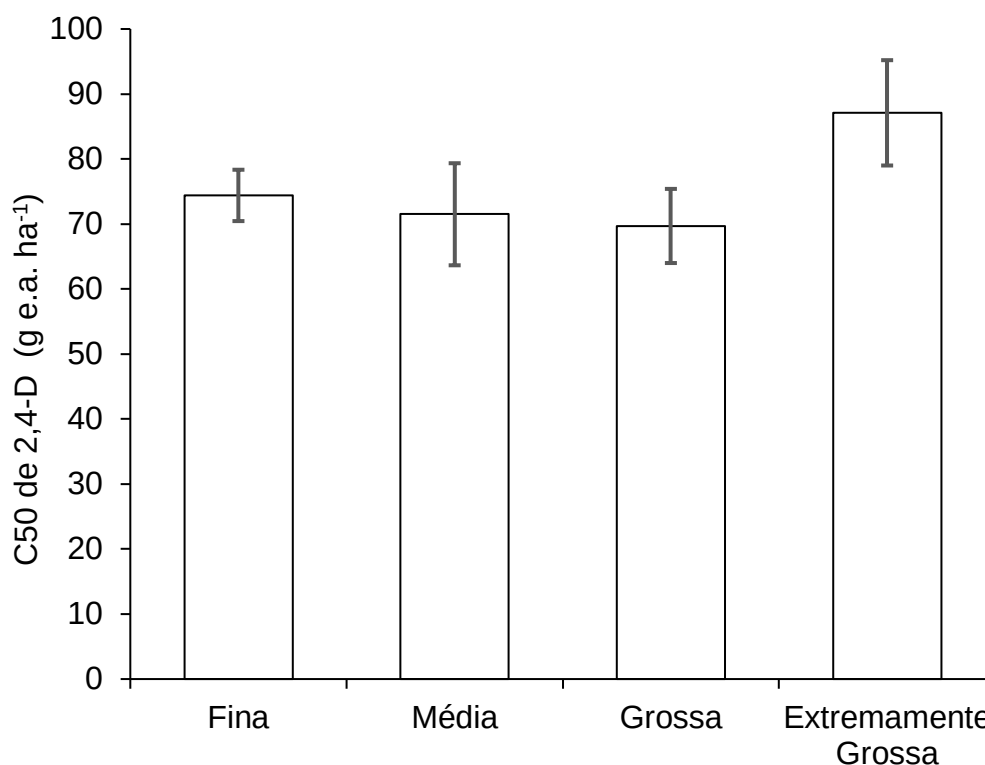
C50: Dose necessária para reduzir 50% da massa seca da parte aérea. b: declividade da curva. D: limite superior da curva.

Fonte: próprio autor.

A Figura 7 ilustra os valores estimados de C50 do herbicida 2,4-D pulverizados por diferentes tamanhos de gotas na redução da MSPA de plantas de soja. Verificasse que os tratamentos pulverizados com gota grossa, apresentou menor valor de C50 diferindo significativamente pelo intervalo de confiança do tratamento com gota extremamente grossa. Os valores de C50 para os tratamentos com gotas finas, médias e grossas não diferiram entre si.

Ferguson *et al.* (2018) também reportaram maior eficácia no controle de plantas daninhas de um amplo grupo de modo de ação de herbicidas utilizando gotas grossas, além de reduzir o potencial risco de deriva comparado com pulverizações com gotas finas.

Figura 7 – Valores estimados de C50 do herbicida 2,4-D pulverizados por diferentes tamanhos de gotas na redução da massa seca da parte aérea de plantas de soja. Barras representam intervalo de confiança ($P < 0,05$).



Fonte: próprio autor.

Visando uma boa efetividade de controle de soja voluntária e ao mesmo tempo minimizar perdas por deriva, a utilização de pontas que proporcionem gotas grossas seria uma boa opção para aplicação dos herbicidas especialmente para os de ação sistêmica. Vale lembrar que o volume de calda utilizado nessa pesquisa foi de 77 L ha⁻¹ e que aplicações de gotas grossas em volumes menores podem reduzir a eficácia de controle do herbicida. Butts *et al.* (2018) relata que houve uma redução na eficácia de controle de plantas daninhas com o glufosinato com o aumento do diâmetro de gotas especialmente em volumes menores. Os mesmos autores relataram a extrema complexidade no processo de aplicação de herbicidas com múltiplas variáveis impactando a sua eficácia.

Contudo, verifica-se que não existe uma receita correta para escolha do tamanho ideal de gotas, há inúmeras variáveis como o tipo de herbicida utilizado, a espécie de

plantas, o estágio fenológico da planta, plantas resistentes, as condições meteorológicas no momento da aplicação, dentre outras que podem desempenhar, de forma isolada ou em conjunto, papel relevante no controle.

6 CONCLUSÃO

Gotas finas, médias e grossas apresentaram os maiores valores de deposição e as menores uniformidades de distribuição em plantas de soja. Pulverização do herbicida glufosinato de amônio com gotas grossas e extremamente grossas proporcionaram, respectivamente, os maiores valores de C50 na redução da massa seca da parte aérea nas plantas de soja comparados com gotas finas.

A classe de gotas finas e extremamente grossa proporcionou respectivamente a menor e a maior C50 quando utilizado o herbicida diquate. O herbicida 2,4-D apresentou maior valor de C50 quando pulverizados com gotas extremamente grossa.

REFERÊNCIAS

- ASABE, AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS –. **Standard 572.1**: Spray nozzle Classification by Droplet Spectra. St. Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.
- BALSARI, P.; GIL, E.; MARUCCO, P.; VAN DE ZANDE, J. C.; NUYTTENS, D.; HERBST, A.; GALLART, M. Field-crop-sprayer potential drift measured using test bench: effects of boom height and nozzle type. **Biosystems engineering**, Londres, v. 154, p. 3-13, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.10.015>
- BALSARI, P.; GRELLA, M.; MARUCCO, P.; MATTA, F.; MIRANDA-FUENTES, A. Assessing the influence of air speed and liquid flow rate on the droplet size and homogeneity in pneumatic spraying. **Pest management science**, Oxford, v. 75, n. 2, p. 366-379, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.5120>
- BOUKHALFA, H. H.; MASSINON, M.; BELHAMRA, M.; LEBEA, F. Contribution of spray droplet pinning fragmentation to canopy retention. **Crop Protection**, Amsterdam, v. 56, p. 91-97, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.11.018>
- BRASIL. **Decreto nº 4.074**, de 4 de janeiro de 2002. Regulamenta a Lei no 7.802, de 11 de julho de 1989, que dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, [...] e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 139, n. 5, p. 1-12, 8 jan. 2002.
- BUTTS, T. R. *et al.* Spray droplet size and carrier volume effect on dicamba and glufosinate efficacy. **Pest Management Science**, Oxford, v. 74, n. 9, p. 2020-2029, 2018.
- BLANCO, F. M. G.; RAMOS, Y. G.; SCARSO, M. F.; JORGE, L. A. D. C. Determining the selectivity of herbicides and assessing their effect on plant roots - a case study with indaziflam and glyphosate herbicides. *In*: PRICE, A.; KELTON, J.; SARUNAITE, L. (Ed.). **Herbicides, Physiology of Action, and Safety**. Oxford: Intechopen, 2015. p. 275–297.
- BUTTS, T. R.; SAMPLES, C. A.; FRANCA, L. X.; DODDS, D. M.; REYNOLDS, D. B.; ADAMS, J. W.; LUCK, J. D. Optimum Droplet Size Using a Pulse-Width Modulation Sprayer for Applications of 2,4-D Choline Plus Glyphosate. **Agronomy Journal**, Madison, v. 111, n. 3, p. 1425-1432, 2019. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2018.07.0463>.
- CREECH, C. F.; HENRY, R. S.; FRITZ, B. K.; KRUGER, G. R. Influence of herbicide active ingredient, nozzle type, orifice size, spray pressure, and carrier volume rate on spray droplet size characteristics. **Weed technology**, Cambridge, v. 29, n. 2, p. 298-310, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1614/WT-D-14-00049.1>.
- COSTA, N. V.; RODRIGUES, A. C. P.; MARTINS, D.; CARDOSO, L. A.; SILVA, J. I. C. Efeito de pontas de pulverização na deposição e na dessecação em plantas de

Brachiaria brizantha. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 923-933, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582008000400025>.

DOBLE, S. J.; MATTHEWS, G. A.; RUTHERFORD, I.; SOUTHCORBE, E. S. E. A system for classifying hydraulic nozzles and other atomizers into 37 categories of spray quality. Brit. **Crop Prot. Coun.**, Cambridge, v. 9, n. 1, p. 112-122, 1985.

Duga, A. T. *et al.* Development and validation of a 3D CFD model of drift and its application to air-assisted orchard sprayers. **Biosystems Engineering**, London, v. 154, p. 62-75, 2017.

DEREUMEAUX, C.; FILLOL, C.; QUENEL, P.; DENYS, S.. Pesticide exposures for residents living close to agricultural lands: A review. **Environment international**, [S. l.], v. 134, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105210>

DUGA, A.T; DELELE, M.A; RUYSEN, K.; DEKEYSER, D.; NUYTTENS, D.; BYLEMANS, D.; VERBOVEN, P. Development and validation of a 3D CFD model of drift and its application to air-assisted orchard sprayers. **Biosystems Engineering**, London, v. 154, p. 62-75, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.10.010>

FERGUSON, J. CONNOR. *et al.* Effect of spray droplet size on herbicide efficacy on four winter annual grasses. **Crop Protection**, Amsterdam, v. 112, p. 118-124, 2018.

FERGUSON, J. CONNOR. *et al.* Assessing the deposition and canopy penetration of nozzles with different spray qualities in an oat (*Avena sativa* L.) canopy. **Crop Protection**, Amsterdam, v. 81, p. 14-19, 2016.

Google earth website. 2021. Disponível em: <http://earth.google.com/> . Acesso em: 31 mai. 2022.

FEHR, WALTER R., CAVINESS C. E. Stages of soybean development ames: **Iowa State University Digital Repository**. Ames, p. 12. mar. 1997.

FRITZ, BRADLEY K.; HOFFMANN, W. C.; BAGLEY, W. E. Effects of Formulated Glyphosate and Adjuvant Tank Mixes on Atomization from Aerial Application Flat Fan Nozzles. **Pesticide Formulations and Delivery Systems: Innovating Legacy Products For New Uses**, West Conshohocken, v. 32, p. 80-95, 2012.

FARIAS, M. A. G. L.; RAETANO, C. G.; CHECHETTO, R. G.; FERREIRA-FILHO, P. J.; GUERREIRO, J. C.; BONINI, C. S.; PRADO. E. P. Spray nozzles and droplet size effects on soybean canopy deposits and stink bugs control in west region of São Paulo state-Brazil. **Phytoparasitica**, Amsterdam, v. 48, p. 203-213, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12600-020-00786-8>

FERGUSON, J. C.; O'DONNELL, C. C.; CHAUHAN, B. S.; ADKINS, S. W.; KRUGER, G. R.; WANG, R.; HEWITT, A. J. Determining the uniformity and consistency of droplet size across spray drift reducing nozzles in a wind tunnel. **Crop Protection**, Amsterdam, v. 76, p. 1-6, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.06.008>

FERGUSON, J. C.; CHAUHAN, B. S.; CHECHETTO, R. G.; HEWITT, A. J.; ADKINS, S. W.; KRUGER, G. R.; O'DONNELL, C. C. Droplet-size effects on control of *Chloris* spp. with six POST herbicides. **Weed Technology**, Cambridge, v. 33, n.1, p. 153-158. 2019 DOI: <https://doi.org/10.1017/wet.2018.99>

FERREIRA, E. A.; PROCÓPIO, S. O.; SILVA, E. A. M.; SILVA, A. A.; RUFINO, R. J. N. Estudos anatômicos de folhas de espécies de plantas daninhas de grande ocorrência no Brasil: IV-Amaranthus deflexus, Amaranthus spinosus, Alternanthera tenella e Euphorbia heterophylla. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 263-271. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582003000200012>.

GRELLA, M.; MIRANDA-FUENTES, A.; MARUCCO, P.; BALSARI, P. Field assessment of a newly-designed pneumatic spout to contain spray drift in vineyards: evaluation of canopy distribution and off-target losses. **Pest Management Science**, Oxford, v. 76, n. 12, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.5975>

KNOCHE, M. Organosilicone surfactant performance in agricultural spray application: a review. **Weed Research**, [S. l.], v. 34, n.3, p. 221-239, 1994. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1994.tb01990.x>

LEITE, J. R. M.; BELCHIOR, G. P. N. Direito Constitucional Ambiental brasileiro. In: Leite, J. R. M.; Peralta, C. E. **Perspectivas e Desafios para a Proteção da Biodiversidade no Brasil e na Costa Rica**. São Paulo: Inst. O Direito por um Planeta Verde, 2014.

LONDRES, F. **Agrotóxicos no Brasil: um guia para ação em defesa da vida**. Rio de Janeiro: AS – PTA – Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa, 2011.

MATOS, A. T. **Poluição Ambiental: Impactos no meio físico**. Viçosa, Minas Gerais: Ed. UFV, 2010.

MACHADO, A. W. **A importância do tamanho das gotas na aplicação de defensivos**. [S. l.]: Agrolink, 2024. Disponível em : https://www.agrolink.com.br/agrolinkfito/tecnologia-de-aplicacao/aplicacao-aerea/a-importancia-do-tamanho-das-gotas-na-aplicacao-de-defensivos_482332.html. Acesso em: 10 jul. 2024.

MONQUERO, P. A.; BINHA, D. P.; INÁCIO, E. M.; SILVA, P. V. D.; AMARAL, L. R. D. Seletividade de herbicidas em variedades de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 2, p.286-293, 2011.

MATUO, T.; PIO, L. C.; RAMOS, H. H.; FERREIRA, L. R. Tecnologia de aplicação e equipamentos. In: **ABEAS Curso de proteção de plantas - módulo 2**. Viçosa: UFV, 2001. 85 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (Brasil); **Monografias autorizadas**. Brasília, DF: ANVISA, 2018.

MILLER, P. C. H.; ELLIS, M. C. B. Effects of formulation on spray nozzle performance

for applications from ground-based boom sprayers. **Crop protection**, Amsterdam, v.19, p. 609-615, 2000.

MIRANDA-FUENTES, A.; *et al.* Influence of liquid-volume and airflow rates on spray application quality and homogeneity in super-intensive olive tree canopies. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.537, p.250–259, 2015.

MUSIU, E. M.; QI, L.; WU, Y. Spray deposition and distribution on the targets and losses to the ground as affected by application volume rate, airflow rate and target position. **Crop Protection**, Amsterdam, v.116, p.170-180, 2019.

MASSINON, M.; DE COCK, N.; FORSTER, W.A.; NAIRN, J.J.; MCCUE, S.W.; ZABKIEWICZ, J.A.; LEBEAU, F. Spray droplet impaction outcomes for different plant species and spray formulations. **Crop Protection**, Amsterdam, v. 99, p. 65-75, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.05.003>

Nairn, J.J.; Forster, W. A. Due diligence required to quantify and visualise agrichemical spray deposits using dye tracers. **Crop Protection**, Amsterdam, v. 115, p. 92-98, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.09.009>

NUYTTENS, D.; BAETENS, K.; SCHAMPHELEIRE, M.; SONCK, B. Effect of nozzle type, size and pressure on spray droplet characteristics. **Biosystems engineering**, Londres, v. 97, n. 3, p. 333-345, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2007.03.001>

OLIVEIRA, M. F. Comportamento de Herbicidas no Ambiente. *In*: OLIVEIRA, J. R. R. S.; CONSTANTIN, J. **Plantas Daninhas e seu Manejo**. Guaíba: Agropecuária, 2001. 362 p.

OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; INOUE, M. H. Seletividade de herbicidas para culturas e plantas daninhas. *In*: OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011, p.243-262.

PERES, F.; ROZEMERG, B. **É veneno ou é remédio?** – Os desafios da comunicação rural sobre agrotóxicos. Agrotóxicos, saúde e ambiente. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2003.

PRADO, E. P.; RAETANO, C. G.; DAL POGETTO, M. H. F. A.; COSTA, S. I. A.; CHRISTOVAM, R. D. S. Effects of silicone surfactant and application rates on spray deposition and soybean rust control. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 3, p. 514-527, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n3p514-527/2015>

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A Language and environment for statistical computing. Viena, Austria. 2017.

RODRIGUES-COSTA, A. C. P.; MARTINS, D.; COSTA, N. V.; PEREIRA, M. R. R. Aspectos da deposição de gotas de pulverização em plantas de amendoim e *Brachiaria plantaginea*. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 201-209, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582012000100023>

RITZ, C.; STREIBIG, J. C. **Dose response curves and other nonlinear curves in Weed Science and Ecotoxicology with the add-on package drc in R.**

Copenhagen, 2012. Disponível em: www.bioassay.dk. Acesso em: 22 Abr. 2024.

RITZ, C.; KNISS, A.R.; STREIBIG, J.C. Research methods in weed science: statistics. **Weed Science**, Reino Unido, v. 63, p. 166-187, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1614/WS-D-13-00159.1>

RUAS, R. A. A.; TEIXEIRA, M. M.; SILVA, A. A. D.; FERNANDES, H. C.; VIEIRA, R. F. Estimativa de parâmetros técnicos da tecnologia de aplicação do glyphosate no controle de *Brachiaria decumbens*. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 3, p. 299-304, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2011000300009>

SILVA, C. M. M. de SOUZA; FRANCISCONI, E. F. **Agrotóxicos e ambiente**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.

SMITH, D. B.; ASKEW, S. D.; MORRIS, W. H.; SHAW, D. R.; BOYETTE, M. Droplet size and leaf morphology effects on pesticide spray deposition. **Transactions of the ASAE**, Michigan, v. 43, n. 2, p. 255-259, 2000. DOI: 10.13031/2013.2700

STAINIER, C.; DESTAIN, M. F.; SCHIFFERS, B.; LEBEAU, F. Droplet size spectra and drift effect of two phenmedipham formulations and four adjuvants mixtures. **Crop protection**, Amsterdam, v. 25, n. 12, p. 1238-1243, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2006.03.006>

TOKURA, L.K.; VELINI, E.D.; SIQUEIRA, J.A.C.; ALOVISI, A.M.T.; MENEZES, M.J.S. Efeito de pontas de pulverização e da palha de milho na deposição da calda aplicada em plantas de *Euphorbia heterophylla* e *Brachiaria plantaginea*. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 2, n. 5, p. 35-44, 2000. DOI: <http://saber.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/9162>

SEEFELDT, S.S.; JENSEN, S.E.; FUERST, E.P. Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationship. **Cambridge University Press**, Vancouver, v. 9, n. 2, p. 218-227, 1995.

Teixeira, M. M. **Influencia del volumen de caldo y de la uniformidad de distribución transversal sobre la eficacia de la pulverización hidráulica**. 1997. 310 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 1997.