

2021-07-09

Adição de diferentes classes de adjuvantes nas aplicações do herbicida glufosinato

Oliveira, João Victor de

Universidade Estadual do Norte do Paraná

OLIVEIRA, João Victor de. Adição de diferentes classes de adjuvantes nas aplicações do herbicida glufosinato. Orientador: Rone Batista de Oliveira. 2021. 94 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Campus Luiz Meneghel, Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes, 2021.

<https://repositorio.uenp.edu.br/handle/123456789/339>

Baixado de Repositório Institucional UENP



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE DO PARANÁ
UENP - *CAMPUS* LUIZ MENEGHEL
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
MESTRADO EM AGRONOMIA

JOÃO VICTOR DE OLIVEIRA

ADIÇÃO DE DIFERENTES CLASSES DE ADJUVANTES
NAS APLICAÇÕES DO HERBICIDA GLUFOSINATO

BANDEIRANTES – PR
JUNHO/2021

JOÃO VICTOR DE OLIVEIRA

**ADIÇÃO DE DIFERENTES CLASSES DE ADJUVANTES
NAS APLICAÇÕES DO HERBICIDA GLUFOSINATO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação – Mestrado em Agronomia - Universidade Estadual do Norte do Paraná – *Campus* Luiz Meneghel.

Orientador: Prof. Dr. Rone Batista de Oliveira

BANDEIRANTES – PR

JUNHO/2021

Ficha catalográfica elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UENP

d048a de Oliveira, João Victor
ADIÇÃO DE DIFERENTES CLASSES DE ADJUVANTES NAS
APLICAÇÕES DO HERBICIDA GLUFOSINATO / João Victor de
Oliveira; orientador Rone Batista de Oliveira -
Bandeirantes, 2021.
94 p. :il.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Agronomia) -
Universidade Estadual do Norte do Paraná, Centro de
Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em
Agronomia, 2021.

1. Gotas de pulverização. 2. Classes de
adjuvantes. 3. Tecnologia de aplicação. I. de
Oliveira, Rone Batista, orient. II. Título.

JOÃO VICTOR DE OLIVEIRA

**ADIÇÃO DE DIFERENTES CLASSES DE ADJUVANTES
NAS APLICAÇÕES DO HERBICIDA GLUFOSINATO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação – Mestrado em Agronomia - Universidade Estadual do Norte do Paraná – *Campus* Luiz Meneghel.

Orientador: Prof. Dr. Rone Batista de Oliveira

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Rone Batista de Oliveira – UENP – CLM

Prof. Dr. Marco Antonio Gandolfo – UENP – CLM

Dr. Greg R. Kruger – BASF - EUA

Bandeirantes, 09 de julho de 2021.

RESUMO

O percentual de área tratada com glufosinato ainda é baixo, devido, principalmente, à inconsistência do controle das plantas daninhas. Os adjuvantes podem auxiliar no uso do glufosinato nas tecnologias de culturas resistentes e favorecer na redução da probabilidade da evolução da resistência. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da adição de adjuvantes com diferentes constituições químicas e físicas no desempenho do herbicida glufosinato. O primeiro capítulo teve por objetivos determinar o efeito da adição dos adjuvantes nas propriedades físicas e químicas e no espectro de gotas da pulverização com glufosinato. O segundo capítulo teve por objetivo de avaliar o efeito da adição de adjuvantes ao glufosinato no controle e ângulo de contato em diferentes espécies de plantas daninhas em dois estágios de desenvolvimento. Foram realizadas análises de laboratório e casa de vegetação. Foram analisados as propriedades físicas e químicas (densidade, viscosidade dinâmica, tensão superficial, condutividade elétrica e pH) e determinado os parâmetros do espectro de gotas: o diâmetro de 10%, 50% e 90% do volume total pulverizado ($Dv_{0,1}$, $Dv_{0,5}$ e $Dv_{0,9}$), amplitude relativa e o percentual de volume de gotas menores que 100 e 150 μm (V_{100} e V_{150}). O controle foi realizado em dois estádios de desenvolvimento (15 ± 3 cm e 27 ± 3 cm) de seis plantas daninhas (velvetleaf, kochia, waterhemp, common lambsquarter, barnyardgrass e green foxtail). A adição de adjuvantes proporcionou variações nas caldas para todos os parâmetros analisados. A presença de adjuvante apresentou maiores variações na viscosidade do que na densidade. A adição do adjuvante redutor de deriva apresentou maiores valores de viscosidade e melhor característica do espectro de gotas para redução de deriva ($> Dv_{0,5}$, $< V_{100}$ e $< v_{150}$). O controle e o ângulo de contato variam de acordo com a espécie de planta daninha, a classe do adjuvante e o estágio de desenvolvimento. O ângulo de contato é dependente tanto das espécies de plantas daninhas, da calda de pulverização e localização da folha na planta.

Palavras-chave: gotas de pulverização, classes de adjuvantes, tecnologia de aplicação.

ABSTRACT

The percentage of area treated with glufosinate is low mainly due to weed control inconsistencies. Adjuvants can assist in the use of glufosinate for technologies of resistant crops and favor decreases in probability of resistance evolution. The objective of this work was to evaluate the effect of adding adjuvants of different chemical and physical constitutions on the performance of glufosinate herbicide. In the first chapter, the objective was to determine the effect of adding adjuvants on the physical and chemical properties and the drop spectrum in glufosinate applications. In the second chapter, the objective was to evaluate the effect of adding adjuvants to glufosinate on the control and contact angle on different weed species at two developmental stages. Laboratory and greenhouse analyses were carried out to evaluate physical and chemical (density, dynamic viscosity, surface tension, electrical conductivity, and pH) properties of solutions and determine drop spectrum parameters: drop diameter in 10%, 50%, and 90% of the total volume applied ($Dv_{0.1}$, $Dv_{0.5}$, and $Dv_{0.9}$), relative amplitude, and percentage of volume of drops lower than 100 and 150 μm (V_{100} and V_{150}). The weed control was carried out at two developmental stages (15 ± 3 cm and 27 ± 3 cm) of six weeds (velvetleaf, kochia, waterhemp, common lambsquarters, barnyardgrass, and green foxtail). The addition of adjuvants resulted in variations in the spray solutions for all evaluated parameters. The presence of adjuvant resulted in higher variations for viscosity than for density. The addition of drift-reducing adjuvant resulted in higher viscosity and better droplet spectrum characteristics to decrease drift ($> Dv_{0.5}$, $< V_{100}$, and $< V_{150}$). The weed control and contact angle vary according to the weed species, adjuvant class, and developmental stage. The contact angle is dependent on the weed species, spray solution, and plant leaf location.

Keywords: spray droplets, adjuvant classes, application technology.

DEDICATÓRIA

Eu dedico essa dissertação a minha família Carlos, Silmara, Victória, Vagner, Riolando e minha namorada Monique por todo o suporte nos momentos difíceis, por acreditar no meu potencial, e estar comigo enquanto perseguia meus sonhos. Aos amigos que fiz durante a jornada até aqui, NITEC, PAT-Lab, UENP, amigos de Astorga e North Platte, sem dúvida levarei para a minha vida. Ao meu orientador e amigo Rone Batista de Oliveira que sempre pude contar. As vítimas do COVID-19 e seus familiares, em especial a minha avó Maria Helena Michelato de Oliveira e tia Luciana Regina de Oliveira que infelizmente se foram, mas sempre estarão comigo.

“É melhor saber como aprender do que saber”

"It's better to know how to learn than to know"

Dr. Seuss

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma para seleção de adjuvantes para pulverização de defensivos agrícolas de acordo com a necessidade a ser atendida. Fonte: Adaptado de Matthews (2014).....	(16)
Figura 2 - Equipamento medidor de densidade e viscosidade.....	(35)
Figura 3 - Equipamento de medição de tensão superficial e ângulo de contato (OCA 15EC).....	(35)
Figura 4 - Equipamentos para controle de temperatura e umidade.....	(36)
Figura 5 - Esquema do túnel de vento e sistema de difração de laser utilizado para a análise de espectro de gotas da University of Nebraska-Lincoln. Fonte esquema: Butts et al., 2019.).....	(38)
Figura 6 - Parâmetros do espectro de gotas em função das diferentes caldas de aplicação de Glufosinato sem e com diferentes classes de adjuvantes.....	(45)
Figura 7 - Parâmetros do espectro de gotas em função das diferentes caldas de aplicação de Glufosinato sem e com diferentes classes de adjuvantes.	(48)
Figura 8 - Laboratório que foi realizado os experimentos e plantas cultivadas em casa de vegetação.....	(61)
Figura 9 - Plantas daninhas utilizadas nos experimentos.....	(62)
Figura 10 - Sistema de pulverização.....	(64)
Figura 11 - Equipamento de medição de tensão superficial e ângulo de contato (OCA 5EC).....	(65)
Figura 12 - Equipamento de medição de temperatura e umidade relativa do ar	(66)
Figura 13 - Ângulo de contato (°) das gotas contendo as caldas de pulverização em diferentes superfícies foliares de plantas daninhas em estágio inicial (13 a 17 cm de altura).....	(67)
Figura 14 - Ângulo de contato (°) das gotas contendo as caldas de pulverização em diferentes superfícies foliares na parte inferior de plantas daninhas no segundo estágio de desenvolvimento (25 a 35 cm de altura).....	(69)
Figura 15 - Ângulo de contato (°) das gotas contendo as caldas de pulverização em diferentes superfícies foliares na parte superior de plantas daninhas no segundo estágio de desenvolvimento (25 a 35 cm de altura).....	(69)

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produtos de pulverização utilizadas com suas respectivas doses...(34)	
Tabela 2 - Média das propriedades físicas e químicas das caldas de pulverização.....(39)	
Tabela 3 - Produtos de pulverização utilizadas com suas respectivas doses...(60)	
Tabela 4 - Controle aos 28 DAT de diferentes espécies de plantas daninhas no estágio inicial (13 a 17cm) em função das caldas de pulverização contendo glufosinato sem e com diferentes classes de adjuvantes na 1ª réplica.....(72)	
Tabela 5 - Controle aos 28 DAT de diferentes espécies de plantas daninhas no estágio inicial (13 a 17cm) em função das caldas de pulverização contendo glufosinato sem e com diferentes classes de adjuvantes na 2ª réplica.....(74)	
Tabela 6 - Média da 1ª e 2ª réplica do controle aos 28 DAT de diferentes espécies de plantas daninhas no 2º estágio (25 a 35 cm) em função das caldas de pulverização contendo glufosinato sem e com diferentes classes de adjuvantes.....(77)	
Tabela 7 - Correlação entre as propriedades físico-químicas, análises de espectro de gotas, controle e ângulo de contato de caldas de pulverização do herbicida glufosinato sem e com diferentes classes de adjuvantes em espécies de plantas daninhas em diferentes estádios de desenvolvimento.....(80)	

Sumário

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
1.1 GLUFOSINATO.....	13
1.2 PLANTAS DANINHAS.....	15
1.3 ADJUVANTES.....	16
1.3.1 Classificação funcional.....	17
1.3.2 Uso de adjuvantes em aplicações de herbicidas.....	18
1.3.3 Definição dos adjuvantes segundo ASTM 2016 (adaptado) ..	19
1.4 PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS	22
1.4.1 Definições	23
1.4.2 Relação das propriedades físicas e químicas com a pulverização.....	23
1.5 REFERÊNCIAS	25
2. CAPÍTULO 1: ADIÇÃO DE DIFERENTES CLASSES DE ADJUVANTES NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE GLUFOSINATO	33
2.1 INTRODUÇÃO	33
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	34
2.2.1 Propriedades físicas das caldas de pulverização.....	35
2.2.1.1 Densidade e viscosidade	37
2.2.1.2 Tensão Superficial Dinâmica (TSD)	38
2.2.1.3 Potencial Hidrogeniônico e condutividade elétrica	38
2.2.2 Análise de espectro de gotas.	39
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
2.3.1 Propriedades físicas e químicas.....	40
2.3.2 Espectro de gotas	45
2.4 CONCLUSÃO	51
2.5 REFERÊNCIAS	52

**3. CAPÍTULO 2: INTERAÇÃO ENTRE DIFERENTES SUPERFÍCIES
FOLIARES DE PLANTAS DANINHAS E CALDAS DE PULVERIZAÇÃO 59**

3.1 INTRODUÇÃO	59
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	60
3.2.1 Plantas daninhas.....	62
3.2.1.1 Características foliares das plantas daninhas utilizadas ..	63
3.2.2 Experimento de controle de plantas daninhas	64
3.2.3 Ângulo de contato	65
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	67
3.4 CONCLUSÃO.....	86
3.5 REFERÊNCIAS.....	87

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A pulverização de produtos fitossanitários é um processo complexo e inúmeros fatores podem e vão afetar a qualidade e a eficácia. As perdas podem ocorrer desde o momento da pulverização até a completa absorção do produto, e ocasionar redução no controle de pragas, doenças e plantas daninhas, perdas econômicas e até contaminação ambiental.

No manejo de plantas daninhas, o glufosinato se destaca por ser um herbicida de amplo espectro de ação importante para o manejo de plantas resistentes ao glifosato. Para realizar uma pulverização com qualidade e eficácia, um dos fatores principais é selecionar a melhor técnica. Outros fatores como o tipo de superfície alvo, molhabilidade, orientação das folhas, a tensão superficial e viscosidade da solução de pulverização, bem como o tamanho da gota e a velocidade, irão influenciar como ocorre o impacto da gota quando atinge o alvo, ou seja, influenciam a qualidade e a eficácia (ZWERTVAEGHER et al., 2014).

A retenção das gotas de pulverização depositadas nas superfícies foliares de plantas daninhas, é de extrema importância para a eficácia dos herbicidas, e está diretamente relacionada a área de molhamento e o tempo de evaporação das gotas, o controle das plantas daninhas pode ser reduzido se o ingrediente ativo não se espalhar uniformemente sobre o alvo (XU et al., 2010). Os principais parâmetros que afetam o impacto e a retenção das gotas são as propriedades químicas e físicas dos líquidos pulverizados e, especialmente, as características do alvo (JOURNAUX et al., 2011).

Essas interações proporcionam a entender diversos processos, um deles é a resistência das plantas daninhas, que pode ser ocasionada devido à má qualidade da pulverização dos herbicidas e como consequência não absorção do ingrediente ativo necessário para controle (BUSI et al., 2018). Os adjuvantes usados nas misturas com herbicidas aumentam a retenção das gotas na superfície da folha e a penetração do ingrediente ativo do herbicida através da cutícula (YOUNG e HART, 1998). É provável que ocorra penetração e translocação mais eficazes do produto devido às mudanças nas propriedades físicas, como a tensão superficial (TS) e o ângulo de contato (AC) (JANKU et al., 2012).

1.1 GLUFOSINATO

Glufosinato é um herbicida de contato de pós emergência, com translocação limitada nas plantas, tornando-o eficaz principalmente no controle das espécies anuais de plantas daninhas. Vem ganhando espaço cada vez mais no manejo, isso, devido ao aumento das plantas daninhas resistentes a glifosato (KAUR et al., 2014; CRAIGMYLE et al., 2013; CHAHAL e JOHNSON, 2012), amplo espectro, ação rápida e às culturas geneticamente modificadas que toleram a aplicação desse herbicida (Liberty Link - LL®). Enquanto para o glifosato várias resistências foram constatadas, para o glufosinato somente duas espécies de plantas daninhas foram reportadas resistência, *Lolium perenne* e *Eleusine indica* (Estados Unidos e Malásia) (HEAP, 2021).

Mesmo sendo um produto comercializado por quase 25 anos, o percentual de área tratada com esse herbicida ainda é baixo, isso porque este produto possui inconsistência no campo, ou seja, alguns fatores podem afetar o controle das plantas daninhas por esse herbicida (EVERMAN et. al., 2009; ANDERSON et al., 2006; PETERSEN e HURLE, 2001). Desses fatores incluem as condições climáticas, tecnologia de aplicação, e as espécies de plantas daninhas (OLIVEIRA, 2020; POLLI, 2021; TAKANO, 2020).

No caso da tecnologia de aplicação, a técnica de pulverização é um dos principais fatores que podem afetar a eficiência desse herbicida, ou seja, o tamanho de gota e a taxa de aplicação (BUTTS et al., 2018). Outro fator são os adjuvantes, esses influenciam tanto nas propriedades físicas e químicas da calda de pulverização quanto na interação/absorção no alvo (POLLI, 2021). Nas recomendações da bula e em diversas pesquisas com glufosinato, é sugerido a utilização de condicionador de água (sulfato de amônio) para as pulverizações com água dura. Já foi constatado que a dureza da água e o pH básico apresentaram antagonismo para herbicidas de ácidos fracos (TAKANO, 2020), como o glufosinato e glifosato. Em relação as plantas daninhas, características como estágio fenológico, tipo e angulação das folhas, índice de área foliar, sobreposição ou efeito guarda-chuva, cerosidade, pilosidade e outras características da superfície foliar vão afetar a eficiência (ZWERTVAEGHER et al., 2014). E por último, mas de extrema importância são as condições climáticas no momento da pulverização, a baixa temperatura e a baixa umidade relativa do

ar podem influenciar no controle, como por exemplo, um estudo que demonstrou os níveis de controle de três espécies de *Amaranthus* foram maiores em 90% de umidade relativa do ar do que 35%, em outros estudos a temperatura também obteve o mesmo comportamento, em baixas temperaturas obteve-se menor controle (COETZER et al., 2001).

Conhecer o produto e suas especificidades é tão importante quanto a tecnologia de aplicação utilizada. As propriedades físico-químicas por exemplo, o glufosinato é um ácido fraco, é o herbicida mais hidrofílico com $K_{ow} = -3,9$, com peso molecular de $181,13 \text{ g mol}^{-1}$, não é considerado uma molécula volátil (pressão de vapor: 10^{-4} Pa) e as formulações utilizadas basicamente são de sal de amônio, a qual tende a se dissociar em solução aquosa (TAKANO, 2020). Outra característica desse herbicida é o mecanismo de ação, grupo da glutamina sintetase que apresenta somente um herbicida, o glufosinato de amônia (D,L-phosphinothricin or 2-amino-4 (hydroxymethylphosphinyl) butanoic acid). Já o modo de ação é um assunto controverso, atualmente é atribuído ao acúmulo de espécies reativas de oxigênio (TAKANO, 2020), mas no passado as pesquisas apontavam para ao acúmulo de amônia.

Originalmente o glufosinato era utilizado somente para aplicações de dessecação. O controle das plantas daninhas por esse herbicida está relacionado com a inibição da Glutamina Sintetase (GS), enzima chave para o metabolismo e a segunda mais abundante nas plantas (TAKANO, 2019). Essa inibição ocorre na fase clara da fotossíntese, ou seja, para o herbicida realizar efeito é necessário a presença de luz. Chamada também de inibição de *feedback*, em que o produto de uma via metabólica inibe a atividade de uma enzima envolvida na sua síntese, ou seja, inibe todo processo de fotossíntese que é essencial para a síntese da enzima GS (LU, 2014). Com a inibição da fotossíntese, ocorre a paralização do fluxo de elétrons e os oxigênios capturam esses elétrons acumulados que resultam na produção das espécies reativas de oxigênio, que podem promover danos celulares, desencadeando uma reação em cadeia oxidativa (IMLAY, 2003). Os sintomas causados pelo herbicida glufosinato aparecem com poucas horas após o tratamento em espécies sensíveis (TAKANO, 2020). Segundo Beriault (1999) essa ação rápida no local da aplicação limita o transporte de outros herbicidas no floema, como o chlorsulfuron e glifosato, ainda é possível que o glufosinato também limite sua

própria translocação por meio de uma ação rápida no tecido da folha de origem, porém Takano (2020) contrapõem essa afirmação, nesse caso a D-fosfinotricina (não se liga a GS) se translocaria mais eficientemente do que a L-fosfinotricina ou a mistura racêmica.

1.2 PLANTAS DANINHAS

Oerke (2006) estimou a perda potencial de rendimento da cultura sem controle das plantas daninhas em 43%, em escala mundial. A maioria das plantas daninhas é controlada quimicamente, pela aplicação de herbicidas. Da vasta quantidade de herbicidas aplicados, uma grande proporção é perdida por causa da deriva ou evaporação, depositada na cultura ou no solo e apenas uma pequena porcentagem do ingrediente ativo atinge o alvo.

Para que esse percentual que é depositado no alvo seja eficaz, o herbicida deve estar presente em uma concentração adequada por um período suficiente, para que possa ser absorvido pelo tecido vegetal e entrar em contato com o sítio de ação. Esta sequência de eventos pode falhar em vários locais, impedindo assim o controle adequado da planta daninha. Um desses eventos é a distribuição adequada e a forma física da gota de pulverização contendo o herbicida na superfície da folha após a aplicação e antes da absorção.

As características da superfície foliar, ângulo e posição da folha e o número de estômatos, tricomas e glândulas (HESS, 1985; WANAMARTA e PENNER, 1989) afetam o molhamento e absorção do herbicida aplicado de maneira foliar (HULL et al., 1982; MCWHORTER, 1985), ou seja, a eficácia do herbicida. Para ser eficaz, o ingrediente ativo deve penetrar na cutícula da planta daninha e no plasmalema antes de entrar no citoplasma e exercer sua ação inibitória. A cutícula da superfície foliar é impregnada e revestida com cera composta por uma variedade de substâncias hidrofóbicas, como hidrocarbonetos alifáticos, álcoois de cadeia longa, cetonas, aldeídos, ésteres de cera e outros (FERREIRA et al., 2005). A cera é não polar (hidrofóbica), mas varia entre as espécies no que diz respeito ao grau de hidrofobicidade, principalmente devido à composição química da cera. Os hidrocarbonetos são altamente hidrofóbicos, enquanto os álcoois e ácidos são menos hidrofóbicos. Segundo experimento realizado por Ferreira e Reddy (2000), a remoção da cera

epicuticular com clorofórmio aumentou a absorção de glifosato na coca (*Erythroxylum coca* var. *Coca* Lam.) em comparação com plantas com cera epicuticular de folha, evidenciando a cera como barreira para a absorção do herbicida.

1.3 ADJUVANTES

Adjuvantes são usados na agricultura para melhorar algum aspecto da pulverização. Pelo novo decreto brasileiro 4.074/2002 (BRASIL, 2002), adjuvante é definido como “produto utilizado em mistura com produtos formulados para melhorar a sua aplicação”, e o aditivo “substância ou produto adicionado a agrotóxicos, componentes e afins, para melhorar sua ação, função, durabilidade, estabilidade e detecção ou para facilitar o processo de produção”. Segundo a ASTM – Sociedade Americana de Testes e Materiais (Estados Unidos), os adjuvantes são materiais adicionados à uma mistura em tanque para auxiliar ou modificar a ação de um agrotóxico, ou as características físicas da mistura. Raetano e Chechetto (2019) propõem que segundo a ASTM todo aditivo é adjuvante, mas nem todo adjuvante é aditivo, e segundo os autores a definição poderia ser “o produto adicionado à formulação ou à calda de pulverização para auxiliar ou modificar a ação de um agrotóxico ou de mistura em tanque visando garantir a eficácia e segurança do processo de aplicação”.

Com a popularização do uso dos adjuvantes, é necessário ter conhecimento sobre a real função e recomendação de cada produto. Os adjuvantes podem ser divididos ou classificados em variadas funções, porém alguns vão exercer mais de uma função (SILVA, 2013). Com isso, classificar, registrar ou certificar, tornam-se assuntos complexos e que levantam questionamentos, “qual a melhor maneira?”. No Brasil, em 2017 foi cancelado o registro dos produtos classificados como adjuvantes e espalhantes adesivos, desde então, os adjuvantes continuam classificados como insumos agrícolas e são produtos de venda livre no país, sem necessidade de autorização pelo MAPA. Já nos Estados Unidos da América os adjuvantes têm certificação funcional, que tem como órgãos responsáveis a Environmental Protection Agency (EPA/USE-PA) e a Chemical Producers and Distributors Association – CPDA.

Os adjuvantes representam de 4,0 a 5,0% do mercado mundial, um número bem expressivo. No Brasil, o percentual de adjuvantes comercializados em relação ao montante comercializado no mercado global é de 17,0% (RAETANO e CHECHETO, 2019). Com esse vasto mercado, o registro ou até mesmo a certificação, poderia tornar o mercado de adjuvantes mais organizado, o que facilitaria tanto para as empresas por direcionar seus produtos para a função específica e comprovada com pesquisas, quanto para os produtores, com maior segurança na escolha do produto.

Figura 1 - Fluxograma para seleção de adjuvantes para pulverização de defensivos agrícolas de acordo com a necessidade a ser atendida. Fonte: Adaptado de Matthews (2014).



1.3.1 Classificação funcional

No processo de pulverização o líquido aplicado é fragmentado em gotas, resultado da interação com a ponta de pulverização. O desempenho da ponta é dependente das propriedades dos líquidos pulverizados, ou seja, a adição de adjuvantes irá afetar esse desempenho (DE RUITER, 2002). Como mencionado por Oliveira (2011), a aplicação das caldas contendo agrotóxicos é afetada por muitas variáveis, incluindo a estabilidade do produto, solubilidade, incompatibilidade, volatilização, formação de espumas, tensão superficial, viscosidade, densidade, tamanho de gotas, deriva, cobertura, aderência, penetração, entre outras. Para uma pulverização eficiente, é necessário que a influência dessas variáveis seja eliminada ou minimizada em alguns casos e realizada a correta seleção em outros (tamanho de gota) (HOCK, 2004; STICKER, 1992).

Com relação à classificação desses produtos, a literatura relata diferentes maneiras. Como classificações por funcionalidades, em modificadores de propriedades físico-químicas da calda (compatibilidade, solubilidade, estabilidade, formação de espuma e pH), processo de pulverização (redução de deriva e da evaporação), ativadores com interferência na interação com o alvo (retenção, adesão, molhamento e espalhamento) e mobilidade no alvo (absorção, penetração e translocação). Outra classificação por funcionalidade, e a mais aceita pela sociedade americana, foi apresentada por Oliveira (2011), que separa em dois grupos: adjuvantes ativadores e adjuvantes úteis ou com propósitos especiais (POLLI, 2021; TU e RANDALL, 2003; STOCK e BRIGGS, 2000; HAZEN, 2000; McMULLAN, 2000; STICKER, 1992; VAN VALKENBURG, 1982).

Os adjuvantes ativadores aumentam diretamente a eficácia de um herbicida, uma vez que ele foi depositado nas superfícies alvo, auxiliando assim na absorção das gotas de pulverização do herbicida na planta já os adjuvantes chamados de úteis atuam nas propriedades físico-químicas da calda de pulverização e não afetam diretamente a eficácia do herbicida. Os adjuvantes utilitários garantem aos aplicadores que a solução herbicida interage de maneira homogênea dentro do tanque.

1.3.2 Uso de adjuvantes em aplicações de herbicidas

Nas pulverizações de herbicidas a adição do adjuvante pode melhorar a eficácia desses produtos no alvo, mas em outros casos essa adição não é justificada pois não realiza nenhum efeito (PACANOSKI, 2010; BUNTING et al., 2004). Quando o adjuvante não é escolhido corretamente, o seu efeito pode ser até negativo, como a redução na eficiência dos herbicidas, excesso de espalhamento, tempo residual do herbicida indesejado no ambiente, e aumentar os efeitos prejudiciais a plantas e animais que não são alvos (KAMMLER et al., 2010; PACANOSKI, 2010; FRIHAUF et al., 2005; KUCHARSKI, 2004; SWARCEWICZ et al., 1998). Não existe um adjuvante universal que pode melhorar o desempenho de todos os herbicidas no controle das plantas daninhas ou sob todas as condições climáticas (TU e RANDAL, 2001). Como visto na classificação funcional, os adjuvantes podem ser divididos em ativadores e úteis.

Os ativadores são usados para melhorar o desempenho dos herbicidas pós-emergentes (CURRAN e LINGENFELTER, 2009). Cada espécie de planta daninha pode apresentar diferentes características em relação a superfície foliar (cutícula, cerosidade, quantidade de estômatos e tricomas, posição, ângulo e quantidade de folhas e idade da folha), essas características impõem barreiras à deposição e absorção do herbicida (KRAEMER et al., 2009; KOCH et al., 2008; HESS, 1985; HULL et al., 1982). Os ativadores podem atuar reduzindo a tensão superficial da calda de pulverização e o ângulo de contato entre a gota e a superfície foliar, pode melhorar a resistência à chuva, aumentando a solubilidade do herbicida na cutícula e aumentando o contato do herbicida na superfície da foliar para áreas de maior absorção (PENNER, 2000).

Os adjuvantes úteis alteram as características físicas e/ou químicas da calda de pulverização, a fim de melhorar o desempenho da aplicação, capacidade de adesão na superfície foliar e o residual no ambiente (MCWHORTER, 1982). De acordo com McMullan (2010), os adjuvantes de utilidade não afetam diretamente o desempenho do herbicida, eles melhoram a eficácia do herbicida reduzindo ou minimizando os efeitos negativos na aplicação.

1.3.3 Definição dos adjuvantes segundo ASTM 2016 (adaptado)

Adjuvante - Material adicionado a uma mistura em tanque para auxiliar ou modificar a ação de um agrotóxico, como as características físicas e químicas da mistura.

Surfatante aniônico - Agente tensoativo no qual a porção ativa da molécula contendo o segmento lipofílico forma exclusivamente um íon negativo (ânion) quando colocado em solução aquosa.

Agente Antiespumante - Material usado para inibir ou prevenir a formação de espuma.

Atrativo - Material que atrai pragas específicas.

Mistura Básica - Adjuvante que aumenta o pH da solução e contém uma fonte de nitrogênio.

Tampão ou Agente tampão - Composto ou mistura que, quando contido em solução, faz com que a solução resista à mudança de pH. Cada tampão tem uma faixa de pH limitada sobre a qual é eficaz.

Agente Penetrante no Dossel - Adjuvante que aumenta a penetração do material de pulverização no dossel da cultura. Veja a definição do auxiliar de deposição.

Surfatante Catiônico - Agente tensoativo no qual a porção ativa da molécula contendo o segmento lipofílico forma exclusivamente um íon positivo (cátion) quando colocado em solução aquosa.

Corante - Material usado para alterar a cor da mistura em tanque.

Agente de Compatibilidade - Agente tensoativo que permite a aplicação simultânea de fertilizante líquido e agrotóxico, ou duas ou mais formulações dos agrotóxicos, como uma mistura em tanque uniforme, ou melhora a homogeneidade da mistura e a uniformidade de aplicação.

Óleo vegetal concentrado - Produto à base de óleo de petróleo emulsionável contendo 15% a 20%, v v⁻¹ de surfatante e um mínimo de 80%, v v⁻¹ de óleo de *phytobland*.

Óleo vegetal emulsionável - Produto à base de óleo de petróleo emulsionável contendo em torno de 5%, v/v de surfatante e o restante de óleo de *phytobland*.

Óleo vegetal não emulsionável - Veja óleo de *phytobland*.

Agente redutor de espuma - Material que elimina ou suprime a espuma no tanque de pulverização.

Auxiliar de deposição - Material que melhora a capacidade das pulverizações de agrotóxicos para depositar nas superfícies alvo.

Óleo dormente - Óleo pulverizado na horticultura aplicado durante a fase dormência da planta-alvo.

Agente redutor de deriva - Material utilizado na calda de pulverização para reduzir a deriva no momento da aplicação.

Emulsificante - Surfatante que promove a suspensão de um líquido imiscível em outro.

Esterificação - O processo de reação dos ácidos graxos com álcool. Embora o metanol seja o álcool comumente utilizado (metilado), o etanol (etilado), o n-butanol e o álcool isopropílico podem ser usados.

Agente redutor de evaporação - Material que reduz a taxa de evaporação da calda de pulverização durante, após ou ambos, o processo de aplicação.

Extensor - Material que aumenta a vida útil do agrotóxico após a aplicação (residual).

Agente de formação de espuma - Material que aumenta o volume ou a estabilidade da espuma formada em uma mistura para pulverização.

Concentrado de óleo com alto teor de surfatante - Produto à base de óleo emulsionável contendo 25-50%, v v⁻¹ de surfactante e um mínimo de 50%, v v⁻¹ de óleo.

Umectante - Material que aumenta o equilíbrio do teor da água e aumenta o tempo de evaporação do depósito da calda de pulverização.

Óleo vegetal modificado - Óleo extraído de sementes que foram quimicamente modificadas (por exemplo, metiladas).

Concentrado de óleo vegetal modificado - Produto emulsionado, óleo vegetal quimicamente modificado contendo 5% a 20%, v v⁻¹ de surfactante e o restante óleo vegetal quimicamente modificado.

Óleo à base de nafta - Óleo de petróleo que contém a maioria da fração da nafta (derivado do petróleo).

Surfatante não iônico - Agente tensoativo sem grupos terminais polares ionizáveis, mas composto por segmentos hidrofílicos e lipofílicos.

Óleo parafínico - Óleo de petróleo (derivado de óleo bruto de parafina) cujo conteúdo do tipo de carbono parafínico é normalmente superior a 60%.

Penetrante - Material que aumenta a capacidade de um agrotóxico penetrar ou ser absorvido em um substrato ou em uma superfície vegetal.

Óleo de petróleo - Óleo derivado de petróleo: contém uma mistura de hidrocarbonetos que são amplamente classificados como parafinas, naftenos, aromáticos ou outros insaturados, ou combinações desses.

Óleo de *phytoblend* - Material parafínico altamente refinado com resíduo não sulfonado mínimo de 92% v v⁻¹.

Espalhante - Material que aumenta a área que uma gota de pulverização cobre em uma superfície de uma determinada calda pulverizada.

Espalhante adesivo - Material que tem propriedades tanto de espalhamento quanto adesivo.

Adesivo - Material que auxilia o depósito da gota de pulverização a aderir ao alvo e pode ser medido em termos de resistência ao tempo, vento, água, ação mecânica ou ação química.

Agente de Superfície - Material que, quando adicionado a um meio aquoso, modifica as propriedades do meio em uma superfície ou interface. Este é um termo geral que inclui detergentes solúveis em meio líquido, agentes dispersantes, agentes emulsionantes, agentes espumantes, agentes penetrantes e agentes umectantes.

Óleo vegetal - Óleo extraído de sementes; geralmente de milho, algodão, amendoim, colza, girassol, canola ou soja.

Óleo vegetal concentrado - Produto de óleo vegetal emulsionado contendo 5% a 20%, v v⁻¹ de surfactante e um mínimo de 80% v v⁻¹ de óleo vegetal.

1.4 PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS

Visando auxiliar na aplicação correta dos agrotóxicos, algumas tecnologias têm sido pesquisadas e incorporadas as pulverizações agrícolas, dentre elas tem se ressaltado o uso dos adjuvantes agrícolas (SASAKI et al., 2015). Em consideração aos vários processos durante a aplicação por pulverização, é evidente que os adjuvantes podem impactar individualmente ou em várias etapas do procedimento de aplicação.

Adjuvantes otimizam as propriedades físicas e químicas da calda de pulverização, assim auxilia no desempenho biológico do ingrediente ativo. Isso pode ser alcançado por meio da alteração das propriedades, viscosidade e tensão superficial (FRANÇA et al., 2017; STOCK e BRIGGS, 2000; HAZEN, 2000), densidade, impactando na fragmentação das gotas de pulverização, ou seja, no jato de pulverização (DOWNER et al., 1998) e retenção foliar (WANG e LIU, 2007; STOCK e HOLLOWAY, 1993).

A formação de gotas e a retenção na superfície foliar é um fenômeno complexo que envolve as propriedades físicas e químicas do líquido de pulverização. As propriedades físicas, incluindo densidade, viscosidade dinâmica e tensão superficial da calda de pulverização são as funções que

impactam no tamanho da gota (STOCK e BRIGGS, 2000). A condutividade elétrica e o pH são as duas principais propriedades químicas, que afetam muito a carga adquirida pelas gotas de pulverização e a degradação do produto (KISSMANN, 1997).

1.4.1 Definições

Para entender a relação que existe dessas propriedades com a pulverização, é importante o conhecimento de suas definições.

A tensão superficial da água é resultado das ligações de hidrogênio, que são forças intermoleculares causadas pela atração dos hidrogênios de determinadas moléculas dos líquidos (que são os polos positivos (H^+)) com os oxigênios das moléculas vizinhas (que são os polos negativos (O^-)).

A viscosidade dinâmica pode ser definida como a relação entre a tensão de cisalhamento aplicada e a velocidade de deformação ocorrida no fluido ($mPa\ s^{-1}$). A viscosidade exerce um papel importante na determinação da forma como se dão os escoamentos, uma vez que é a responsável pelo surgimento de forças entre o fluido e os contornos sólidos de corpos que entram em contato com o escoamento.

A densidade é a relação entre a massa de um material e o seu volume em uma dada temperatura e pressão. Isso significa que a densidade é uma propriedade específica de cada material e pode ser calculada para líquidos ($kg\ m^{-3}$).

O pH é a sigla utilizada para potencial hidrogeniônico, se refere à concentração de $[H^+]$ em uma solução. Assim, o pH serve para nos indicar se uma solução é ácida, neutra ou básica.

Condutividade elétrica pode ser definida como a quantidade ou capacidade de transporte da corrente elétrica (elétrons) por meio de um material, como por exemplo os líquidos.

1.4.2 Relação das propriedades físicas e químicas com a pulverização

Segundo Miller e Butler Ellis (2000), mudanças nas propriedades do líquido pulverizado podem influenciar tanto o processo de formação das gotas

como o comportamento destas em contato com o alvo, alterando o potencial da aplicação. O processo de formação das gotas pode ser significativamente alterado pelo uso de certas formulações e pela adição de adjuvantes, visto que estes alteram características físico-químicas das caldas, como tensão superficial e viscosidade (CUNHA et al., 2010).

A tensão superficial é uma importante propriedade visto que a retenção e a adesão da calda na superfície foliar é consequência da boa molhabilidade (TANG, DONG e LI, 2008). A capacidade de redução da tensão superficial proporciona melhora no molhamento foliar, pois facilita o espalhamento das gotas pulverizadas quando atinge o alvo, podendo aumentar a absorção do ingrediente ativo do produto fitossanitário pela planta e potencializar sua eficiência no controle (BAIO et al., 2015). Hilz e Vermeer (2013) também mostram que a tensão superficial afeta o tamanho das gotas pulverizadas.

A qualidade da pulverização está diretamente ligada à viscosidade (CHORILLI et al., 2007). O aumento na taxa de viscosidade, frequentemente causa um aumento no tamanho das gotas e na amplitude do espectro das gotas com maior percentual para gotas maiores (OLIVEIRA, 2011). Segundo Christofolletti (1999), fluidos com maior viscosidade e tensão superficial requerem maior quantidade de energia para a pulverização, produzindo gotas maiores, que proporciona parâmetros de densidade de gotas e espectro de gotas, visando a redução das gotículas menores que são levadas com o vento.

Outras características relacionadas são o potencial hidrogeniônico (pH) e a condutividade elétrica. Elas, segundo Kissmann (1997), influenciam no resultado da aplicação visto que podem acelerar a degradação do produto fitossanitário. Maski e Durairaj (2010) mostram que constante dielétrica e condutividade são duas propriedades importantes que afetam a aquisição de carga elétrica pelas gotas pulverizadas. Estes autores encontraram maior carga elétrica em gotas quando pulverizadas em soluções com maior condutividade, o que indica que os adjuvantes também podem ser bons aliados na pulverização eletrostática. A constante de dissociação de muitas moléculas depende do pH, influenciando na absorção pelos tecidos vegetais (CUNHA e ALVES, 2009).

1.5 REFERÊNCIAS

ANDERSON, D.M.; SWANTON, C.J.; HALL, J.C.; MERSEY, B.G. The influence of temperature and relative humidity on the efficacy of glufosinate-ammonium. **Weed Research**, 33: 139-147, 1993.

ANTUNIASSI, U.R. Adjuvantes e formulações: tecnologia dentro do tanque. **Boletim de Pesquisa de Soja 2015/2016**. Rondonópolis: Fundação MT, v. 1, p. 474-507, 2015.

BRASIL. Decreto n. 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, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/D4074compilado.htm>.

BAIO, F.H.R.; GABRIEL, R.R.F.; CAMOLESE, H.D.S. Alteração das propriedades físico-químicas na aplicação contendo adjuvantes. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, Tupã, v. 9, n.2, p. 151-161, 2015.

BERIAULT, J.N.; HORSMAN, G.P.; DEVINE M.D. Phloem transport of D, L-glufosinate and acetyl-L-glufosinate in glufosinate-resistant and susceptible *Brassica napus*. **Plant Physiology**, v. 121, n. 2, p. 619-628, 1999.

BUNTING, J.A., SPRAGUE, C.L., & RIECHERS, D.E. Absorption and activity of foramsulfuron in giant foxtail (*Setaria faberi*) and woolly cupgrass (*Eriochloa villosa*) with various adjuvants. **Weed Science**, v. 52, n. 4, p. 513-517, 2004.

BUSI, R., GOGGIN, D.E., HEAP, I.M., HORAK, M.J., JUGULAM, M., MASTERS, R.A. Weed resistance to synthetic auxin herbicides. **Pest Management Sci**, v. 74, p. 2265–2276, 2018.

BUTTS, T.R., SAMPLES, C.A., FRANCA, L.X., DODDS, D.M., REYNOLDS, D.B., ADAMS, J.W., ZOLLINGER, R.K., HOWATT, K.A., FRITZ, B.K., CLINT HOFFMANN, W., KRUGER, G.R. Spray droplet size and carrier volume effect on dicamba and glufosinate efficacy. **Pest. Management Sci**, v. 74, p. 2020-2029, 2018.

CHAHAL, G.S., & JOHNSON, W.G. Influence of glyphosate or glufosinate combinations with growth regulator herbicides and other agrochemicals in controlling glyphosate-resistant weeds. **Weed Technology**, v. 26, n. 4, p. 638-643, 2012.

CHORILLI, M.C. Influência da viscosidade do veículo na liberação in vitro da cafeína. **Revista Eletrônica de Farmácia**, v. 4, n. 1, 2007.

CHRISTOFOLETTI, J.C. **Considerações sobre a deriva nas pulverizações agrícolas e seu controle**. Boletim técnico. São Paulo: Teejet South América, p. 15, 1999.

COETZER, E., AL-KHATIB, K. Photosynthetic inhibition and ammonium accumulation in Palmer amaranth after glufosinate application. **Weed Science**, v. 49, p. 454-459, 2001.

CRAIGMYLE, B.D., ELLIS, J.M., BRADLEY, K.W. Influence of weed height and glufosinate plus 2,4-d combinations on weed control in soybean with resistance to 2,4-d. **Weed Technology**, v. 27, n. 2, p. 271-280, 2013.

CUNHA, J.P.A.R., & ALVES, G. Características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. **Interciência**, v. 34, n. 9, p. 655-659, 2009.

CUNHA, J.P.A.R., ALVES, G.S., REIS, E. F. Efeito da temperatura nas características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. **Planta Daninha**, v. 28, n. 3, p. 665-672, 2010.

CUNHA, J.P.A.R., ALVES, G., MARQUES, R.S. Tensão superficial, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica de caldas de produtos fitossanitários e

adjuvantes. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.48, n.2, p.261-270, 2017.

CURRAN, W., & LINGENFELTER, D. **Adjuvants for enhancing herbicide performance**. In Agronomy Facts 37. University Park, PA: Pennsylvania State University, 2009.

DE RUITER, H. Developments in adjuvant use for agrochemicals. **Meded Rijksuniv Gent Fak Landbouwkde Toegep Biol Wet**, Cieszyński, v. 67, n. 2, p.19-25, 2002.

DOWNER, R.A., UNDERWOOD, A.K., HALL, F. R., & MACK, R.E. **Roundup Ultra with drift management adjuvants**. In Fifth International Symposium on Adjuvants for Agrochemicals. Memphis, TN: Memphis: ISAA, 1998.

EVERMAN, W.J., MAYHEW, C.R., BURTON, J.D., YORK, A.C., & WILCUT, J.W. Absorption, Translocation, and Metabolism of ¹⁴C-glufosinate in glufosinate-resistant corn, goosegrass (*Eleusine indica*), large crabgrass (*Digitaria sanguinalis*), and Sicklegod (*Senna obtusifolia*). **Weed Science**, v. 57, n. 1, p. 1-5, 2009.

FERREIRA, J.F.S., REDDY, K.N. Absorption, and translocation of glyphosate in *Erythroxylum coca* and *E. novogranatense*. **Weed Science**, v. 48, n. 2, p. 193-199, 2000.

FERREIRA, E.A. Composição química da cera epicuticular e caracterização da superfície foliar em genótipos de cana-de-açúcar. **Planta Daninha [online]**. v. 23, n. 4, p. 611-619, 2005.

FRANÇA, J. A. L., CUNHA, J. P. A. R., ANTUNIASSI, U. R. Spectrum, velocity and drift of droplets sprayed by nozzles with and without air induction and mineral oil. **Engenharia Agrícola [online]**. v. 37, n. 03, p. 502-509, 2017.

FRIHAUF, J.C., MILLER, S. D., & ALFORD, C.M. Imazamox rates, timings, and adjuvants affect imidazolinone-tolerant winter wheat cultivars. **Weed Technology**, v. 19, n. 3, p. 599-607, 2005.

HAZEN, J.L. Adjuvants - terminology, classification and chemistry. **Weed Technology**, v. 14, n. 4, p. 773-784, 2000.

HEAP, I. **The International Herbicide-Resistant Weed Database**. Online. Tuesday, March 16, 2021.

HESS, F.D. Herbicide Absorption and Translocation and Their Relationship to Plant Tolerances and Susceptibility, **Weed Physiology**, v. 2, p. 191–214, 1985.

HILZ, E., VERMEER, A.W.P. Spray drift review: the extent to which a formulation can contribute to spray drift reduction. **Crop Protection**, v. 44, n. 1, p. 75-83, 2013.

HOCK, W.K. **Horticultural spray adjuvantes**. Pennsylvania: Pennsylvania State University, p. 1-4, 2004.

HULL, H.M., DAVIS, D.G., & STOLZENBERG, G.E. **Action of adjuvants on plant surfaces**. Adjuvants for Herbicides. Weed Science Society of America., p. 26-67, 1982.

IMLAY, J.A. Pathways of oxidative danos. **Annual Review Microbiology**, v. 57, p. 395-418, 2003.

JANKU J., BARTOVSKA L., SOUKUP, J., JURSI, M.K., HAMOUZOVA K. Density and Surface Tension of Aqueous Solutions of Adjuvants Used for Tank-Mixes with Pesticides. **Plant, Soil and Environment**, v. 58, p. 568–572, 2012.

JOURNAUX, L., SIMON, J.C., DESTAIN, M.F. Plant leaf roughness analysis by texture classification with generalized Fourier descriptors in a dimensionality reduction context. **Precision Agric**, v. 12, p. 345–360, 2011.

KAMMLER, K.J., WALTERS, S.A., & YOUNG, B.G. Effects of adjuvants, halosulfuron, and grass herbicides on Cucurbita spp. injury and grass control. **Weed Technology**, v. 24, n. 2, p. 147-152, 2010.

KAUR, S., SANDELL, L.D., LINDQUIST, J.L., & JHALA, A.J. Glyphosate-resistant giant ragweed (*Ambrosia trifida*) control in glufosinate-resistant soybean. **Weed Technology**, v. 28, n. 4, p. 569-577, 2014.

KISSMANN, K.G. **Adjuvantes para caldas de produtos fitossanitários**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, Viçosa: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, p. 61-77, 1997.

KOCH, K., BHUSHAN, B., & BARTHLOTT, W. Diversity of structure, morphology and wetting of plant surfaces. **Soft Matter**, v. 4, n. 10, p. 19-43, 2008.

KRAEMER, T., HUNSCHE, M., & NOGA, G. Surfactant-induced deposit structures in relation to the biological efficacy of glyphosate on easy- and difficult-to-wet weed species. **Pest Management Science**, v. 65, n. 8, p. 844-850, 2009.

KUCHARSKI, M. Degradation of phenmedipham in soil under laboratory conditions. **Vegetable Crops Research Bulletin**, v. 60, p. 63-70, 2004.

LU, Y., LI, Y., YANG, Q., ZHANG, Z., CHEN, Y., ZHANG, S., PENG, X. Suppression of glycolate oxidase causes glyoxylate accumulation that inhibits photosynthesis through deactivating Rubisco in rice. **Physiology Plant**, v. 150, p. 463-476, 2014.

MATTHEWS, G., BATEMAN, R., & MILLER, P. **Pesticide application methods**, 4th ed. Wiley-Blackwell, 2014.

MASKI, D., DURAIRAJ, D. Effects of electrode voltage, liquid flow rate, and liquid properties on spray chargeability of an air-assisted electrostatic-induction spray charging system. **Journal of Electrostatics**, v. 68, n. 2, p. 152-158, 2010.

MCMULLAN, P.M. Utility adjuvants. *Weed Technology*, v. 14, n. 4, p. 792-797, 2010.

McMULLAN, P.M. Utility adjuvants. **Weed Technology**, v. 14, p. 792-797, 2000.

MCWHORTER, C.G. The use of adjuvants. **Adjuvants for herbicides**, Weed Science Society of America, p. 10-21, 1982.

MCWHORTER, C.G. The physiological effects of adjuvants on plants. **Herbicide Physiology**, ed. Weed Physiology. v. 2, p. 141-158, 1985.

MILLER, P.C.H., BUTLER ELLIS, M.C. Effects of formulation on spray nozzle performance for applications from ground-based boom sprayers. **Crop Protecion**, Guildford, v. 19, p. 609-615, 2000.

OERKE, E.C. Crop losses to pests. **The Journal of Agricultural Science**, v. 144, n. 1, p. 31-43, 2006.

OLIVEIRA, R.B. **Caracterização funcional de adjuvantes em soluções aquosas**. 121 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, 2011.

OLIVEIRA, J.V., TAVARES, A.A.C., ANUNCIATO, V.M., POLLI, E.G., GUIMARÃES, L.H., OLIVEIRA, R.B., KRUGER, G.R. Influence of temperature on droplet size and physicochemical properties of glufosinate tank-mixtures with different adjuvants. **75th annual meeting of the North Central Weed Science Society**, 2020.

PACANOSKI, Z. Role of Adjuvants on herbicide behavior: A review of different experiences. **Herbologia**, v. 11, n. 2, p. 67-79, 2010.

PENNER, D. Activator adjuvants. **Weed technology**, Champaign, v. 14, p. 785-791, 2000.

PETERSEN, J., & HURLE, K. Influence of climatic conditions and plant physiology on glufosinate-ammonium efficacy. **Weed Research**, v. 41, n. 1, p. 31-39, 2001.

Polli, E.G. **The influence of adjuvants on physical properties, droplet-size, and efficacy of glufosinate and dicamba plus glyphosate solutions**. Master's thesis. Lincoln, NE: University of Nebraska, 2021.

RAETANO, C.G.; CHECHETTO, R.G. **Misturas em tanque**. In: ANTUNIASSI, U.R.; BOLLER, W. Tecnologia de Aplicação para Culturas Anuais. 2 ed. Passo fundo: Aldeia Norte, p. 49-86, 2019.

SASAKI, R.S., TEIXEIRA, M.M., SANTIAGO, H., MADUREIRA, R.P., MACIEL, C.F.S., FERNANDES, H.C. Adjuvantes nas propriedades físicas da calda,

espectro e eficiência de eletrificação das gotas utilizando a pulverização eletrostática. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.2, p.274-279, 2015.

SILVA, A. C. A. **Desempenho de adjuvantes na qualidade da aplicação e na retenção e translocação de fungicida na cultura da soja**. Tese de doutorado. Botucatu, SP: UNESP, 2013.

STICKER, W. E. The importance of adjuvants to the agricultural chemical industry. In: FOY, Chester L. **Adjuvants for agrichemicals**. New York: Marcell Dekker, p. 247-249, 1992.

STOCK, D., BRIGGS, G. Physiochemical properties of adjuvants: values and applications. **Weed Technology**. Champaign, v.14, p. 798-806, 2000.

STOCK, D., HOLLOWAY, P.J. Possible mechanisms for surfactant-induced foliar uptake of agrochemicals. **Pesticide Science**, v. 38, n. 2-3, p. 165-177, 1993.

SWARCEWICZ, M. Influence of oil adjuvants on trifluralin persistence in light soil. **Zeszyty Naukowe AR Szczecin**, Rolnictwo, v. 63, p. 211-217, 1996.

TAKANO, H. K., BEFFA, R., PRESTON, C., WESTRA, P., & DAYAN, F. E. Reactive oxygen species trigger the fast action of glufosinate. **Planta**, v. 249, n. 6, p. 1837-1849, 2019.

TAKANO, H. K., & DAYAN, F. E. Glufosinate-ammonium: A review of the current state of knowledge. **Pest Management Science**, v. 76, n. 12, p. 3911-3925, 2020.

TANG, X., DONG, J., LI, X. A comparison of spreading behaviors of Silwet I-77 on dry and wet lotus leaves. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 325, n. 1, p. 223-227, 2008.

TU, M., HURD, C., & RANDALL, J. M. **Adjuvants**. In *Weed VEC methods handbook: Tools and techniques for use in natural areas*, p. 171-190, 2001.

TU, M., RANDALL, J. M. **Adjuvants**. In: *Weed control methods handbook the nature conservancy*. Davis: TNC, p. 1-24, 2003.

VAN VALKENBURG, J. W. Terminology, classification, and chemistry. In: **Adjuvants for herbicides**. Champaign: WSSA, p. 1-9, 1982.

WANAMARTA G., PENNER D. Foliar Absorption of Herbicides, **Weed Science**, v. 4, p. 215–231, 1989.

WANG, C.J., LIU, Z.Q. Foliar uptake of pesticides present status and future challenge. **Pesticide Biochem. Physiol**, v. 87, n. 1, p. 1-8, 2007.

XU, L., ZHU, H., OZKAN, H., BAGLEY, W., DERKSEN, R. C., & KRAUSE, C. R. Adjuvant effects on evaporation time and wetted area of droplets on waxy leaves. **Transactions of the ASABE**, v. 53, n. 1, p. 13-20, 2010.

YOUNG, B. G., HART, S. E. Optimizing Foliar Activity of Isoxaflutole on Giant Foxtail (*Setaria faberi*) with Various Adjuvants, **Weed Science**, v. 46, p. 397–402, 1998.

YOUNG, B.G.; MATTHEWS, J.L.; WHITFORD, F. **Compendium of herbicide adjuvants**. Purdue University, 13th Ed, 2016.

ZWERTVAEGHER, I. K., VERHAEGHE, M., BRUSSELMAN, E., VERBOVEN, P., LEBEAU, F., MASSINON, M., NICOLAI, B. M., NUYTTENS, D. The Impact and Retention of Spray Droplets on a Horizontal Hydrophobic Surface, **Biosystems Engineering**, v. 126, p. 82–91, 2014.

2. CAPÍTULO 1: ADIÇÃO DE DIFERENTES CLASSES DE ADJUVANTES NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE GLUFOSINATO

2.1 INTRODUÇÃO

Dentre as técnicas empregadas no manejo das plantas daninhas, a principal tem sido a aplicação de herbicidas devido à praticidade, rapidez e eficiência. Estes podem ser produtos sistêmicos ou de contato, aplicados na dessecação, pré e pós-emergência, isolados ou em mistura, além de aplicações sequenciais do mesmo ou de diferentes herbicidas (PROCÓPIO et al., 2006). Dentre os produtos disponíveis no mercado, o glufosinato é um herbicida de contato utilizado em pós-emergência, com translocação limitada nas plantas, este, por sua vez, está cada vez mais em evidência devido ao aumento de plantas resistentes a glifosato (Chahal; Johnson, 2012; Craigmyle et al., 2013; Kaur et al., 2014), seu amplo espectro de ação, ação rápida e às culturas geneticamente modificadas que toleram a aplicação desse herbicida (Liberty Link - LL®).

O percentual de área tratada com glufosinato ainda é baixo, devido, principalmente, à inconsistência do controle das plantas daninhas (PETERSEN; HURLE, 2001; EVERMAN et al., 2009). Essa inconsistência é devida a alguns fatores, dentre eles, destacam-se as condições climáticas, tecnologia de aplicação além das espécies de plantas daninhas (OLIVEIRA, 2020; TAKANO, 2020; POLLI, 2021). Os herbicidas de contato, como o glufosinato, o tamanho da gota de pulverização é de extrema importância para maximizar a eficácia (MEYER, 2018). Estudos afirmam que o glufosinato possui melhor performance quando pulverizado com gotas médias a grossas (MEYER et al., 2016; ETHERIDGE et al., 2001).

As tecnologias de aplicação têm sido ferramentas utilizadas com o intuito de melhorar a qualidade da aplicação de herbicidas e, conseqüentemente o controle das plantas daninhas. A eficiência da aplicação pode ser determinada pela adequada deposição do ingrediente ativo no alvo e, para isso, alguns produtos classificados como adjuvantes podem melhorar a eficiência biológica dos herbicidas alterando as características físicas e químicas (CUNHA et al., 2010; SASAKI et al., 2015).

No processo de pulverização, o líquido aplicado é fragmentado em gotas, resultado da interação com a ponta de pulverização e o desempenho desta ponta é dependente das propriedades dos líquidos pulverizados, ou seja, a adição de adjuvantes poderá interferir neste desempenho (MEYER et al., 2016).

Embora a utilização de adjuvantes esteja crescendo, o efeito desses aditivos em calda nem sempre é conhecido, dada a grande quantidade de produtos disponíveis (SPANOGHE, 2007). O principal objetivo dos adjuvantes é melhorar a eficácia do produto fitossanitário aplicado em calda de pulverização, esta, por sua vez, é afetada por variáveis incluindo a estabilidade do produto, solubilidade, incompatibilidade, volatilização, formação de espumas, tensão superficial, viscosidade, densidade, tamanho de gotas, deriva, cobertura, aderência, penetração, entre outras (OLIVEIRA, 2011; TRAVLOS, 2017; HAO, 2019).

A formação de gotas e a retenção na superfície foliar é um fenômeno complexo que envolve as propriedades físicas e químicas do líquido de pulverização (STOCK; BRIGGS, 2000). Nesse contexto, faz-se necessário conhecer as interações dessas propriedades dos diferentes tipos de adjuvantes e suas combinações com o produto fitossanitário. Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar as propriedades físicas e químicas, além do processo de fragmentação das gotas do herbicida glufosinato de amônio com a adição de diferentes classes de adjuvantes.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório *Pesticide Application Technology* (PAT Lab) localizado no Centro de Pesquisa, Extensão e Educação da Universidade de Nebraska-Lincoln em North Platte-NE (EUA), durante o ano de 2020.

Foram utilizadas 10 caldas de pulverização, como apresentado na Tabela 1. Para a testemunha, nesse estudo, foi utilizado a água de torneira e também para preparar as caldas de pulverização. O herbicida Glufosinato de amônio utilizado foi o Liberty® (Bayer CropScience, Research Triangle Park, NC, USA) e nove adjuvantes: surfatante não-iônico (R11® - Wilbur-Ellis), surfatante organo-silicone (SYL-COAT® - Wilbur-Ellis), óleo surfatante altamente concentrado

(Produto codificado - CRODA), óleo vegetal concentrado (Tronic® - KALO), óleo vegetal modificado (Produto codificado - CRODA), agente redutor de deriva (Intact® - Precision Laboratories), óleo concentrado (R.O.C® - Wilbur-Ellis), Umectante (Ampersand® - Attune), condicionador de água (Bronc® - Wilbur-Ellis). As caldas foram preparadas com taxa de aplicação de 140 L ha⁻¹.

Tabela 1 - Produtos utilizados com suas respectivas doses.

Trt#	Caldas de pulverização	Doses
		(g ai ha ⁻¹ e % v v ⁻¹)
1	Testemunha (água da torneira)	-
2	Glufosinato de amônio (GA)	328
3	GA + Surfatante não-iônico (NIS)	328 + 0,37
4	GA + Surfatante organo-silicone (SIL)	328 + 0,18
5	GA + Óleo surfatante altamente concentrado (HSOC)	328 + 0,50
6	GA + Óleo vegetal concentrado (VOC)	328 + 0,37
7	GA + Óleo vegetal modificado (MVO)	328 + 0,50
8	GA + Agente redutor de deriva (DRA)	328 + 0,50
9	GA + <i>Crop oil concentrate</i> (COC)	328 + 1,67
10	GA + Umectante (HUM)	328 + 0,50
11	GA + Condicionador de água (WC)	328 + 5,00

2.2.1 Propriedades físicas das caldas de pulverização

As propriedades analisadas, tanto físicas quanto químicas, foram: densidade, viscosidade, tensão superficial dinâmica (TSD), potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica (CE). Os tratamentos consistiram em 10 caldas de pulverização (Tabela 1). As análises de densidade e

viscosidade foram realizadas a 20°C, os equipamentos utilizados foram o medidor de densidade DMA™ 4500 M (Anton Paar USA Inc., Ashland, VA 23005) e o viscosímetro Lovis 2000 M / ME (Anton Paar USA Inc., Ashland, VA 23005) acoplado ao medidor de densidade (Figura 2).



Figura 2 - Equipamento medidor de densidade e viscosidade.
Foto: Oliveira, J.V. (2020).

As análises de tensão superficial dinâmica foram realizadas no instrumento de medição de ângulo de contato óptico baseado em vídeo - OCA 15EC (DataPhysics Instruments GmbH, Filderstadt, Alemanha) (Figura 3). O instrumento é composto por um sistema de medição por vídeo com câmera USB de alta performance, lente bifocal 6x zoom com foco fino contínuo integrado, ajustável e ângulo de inclinação da câmera.



Figura 3 - Equipamento de medição de tensão superficial e ângulo de contato (OCA 15EC).

Foto: Oliveira, J.V. (2020).

O software SCA é usado para coletar, aferir e avaliar os dados medidos. Uma câmara climática foi utilizada para manter a temperatura e a umidade relativa do ar em $30 \pm 1^\circ\text{C}$ e $30 \pm 1\%$, respectivamente. A temperatura é ajustada por um circulador de líquido (Julabo USA Inc, Allentown, PA 18109) e a umidade do ar é fornecida por um gerador e controlador de umidade - HCG (DataPhysics Instruments GmbH, Filderstadt, Alemanha) (Figura 4), ambos os valores são exibidos no painel de controle do dispositivo HCG, permitindo a verificação em tempo real.



Figura 4 - Equipamentos para controle de temperatura e umidade.

Foto: Oliveira, J.V. (2020).

2.2.1.1 Densidade e viscosidade

Uma seringa de 5 mL foi utilizada para injetar a amostra do líquido (livre de bolhas) na célula de medição localizada no interior do medidor de densidade, onde a densidade foi calculada usando o método de *fade-out*. Após a densidade, pelo mesmo sistema, o líquido chega até o viscosímetro, que apresenta o tubo de vidro, onde apresenta uma bola de aço que possibilita a medição do tempo de deslocamento desta através do líquido, com base no princípio ou método da bola em queda de Hoeppler. Cada amostra de tratamento, foi replicada quatro vezes. Entre cada tratamento, todo o sistema interno foi limpo com água

destilada e álcool isopropílico (91%) e uma nova seringa utilizada para a próxima calda.

2.2.1.2 Tensão Superficial Dinâmica (TSD)

A TSD foi determinada usando o método da gota pendente, foi calculado a partir do seu formato e do tamanho da gota pendente por meio da equação de Laplace-Young. Uma seringa dosadora de 500 µl Hamilton® foi preparada e montada com uma agulha de 1,65 mm de diâmetro externo colocada dentro da câmara climática e usada como tamanho de referência. Uma imagem ao vivo da câmara pode ser vista na tela do computador usando o software SCA. Primeiro inicia o registro antes de dispersar o líquido. O líquido foi dispensado a uma taxa de dosagem lenta e contínua ($0,5 \mu\text{L s}^{-1}$) até formar uma gota o maior possível. Após a queda, a sequência de registro foi interrompida e usada para medições.

O software detecta a agulha entre duas linhas de ampliação e calibra a ampliação da imagem com base em seu tamanho de referência. O recurso de perfil foi usado para detectar o contorno da gota automaticamente e o método Laplace-Young foi usado para calcular a tensão superficial. Cada amostra de tratamento, conforme descrito anteriormente, foi replicada cinco vezes. Entre cada tratamento, a agulha e a seringa foram limpas cinco vezes com água destilada, álcool e novamente água. Após o procedimento de limpeza, a seringa foi preenchida com a próxima amostra do tratamento cinco vezes para garantir que a agulha e a seringa contivessem apenas o líquido do tratamento a ser analisado.

2.2.1.3 Potencial Hidrogeniônico e condutividade elétrica

Para as análises químicas foi utilizado o equipamento PC200S (Series Benchtop, Cole-Parmer Instruments, Vernon Hills, IL). Para o procedimento de leitura, o eletrodo do pH foi disposto dentro do copo plástico contendo a solução a ser analisada e o eletrodo da condutividade em outro copo com a mesma solução para não haver interferência. Foram realizadas quatro repetições/leituras, entre as análises os eletrodos foram limpos com água

destilada e secados, para cada análise foi utilizado um novo copo plástico. O equipamento possui sensor de temperatura para ajustar os valores de acordo com a temperatura da solução.

2.2.2 Análise de espectro de gotas.

O espectro de gotas de pulverização foi avaliado no túnel de vento de baixa velocidade no PAT Lab. As medições do tamanho das gotas foram feitas usando o equipamento Sympatec HELOS-VARIO / KR de difração a laser com uma lente R7 (Sympatec Inc., Clausthal, Alemanha). Esta lente é capaz de detectar gotas em uma faixa de 18 a 3.500 μm . A ponta de pulverização utilizada foi a TT11002 a 276 kPa com taxa de aplicação de 140 L ha⁻¹ e uma velocidade laminar do vento de 6,7 m s⁻¹ (Fritz et al. 2014; Butts et al. 2019). O jato de pulverização foi orientado perpendicularmente ao feixe de laser e atravessada através do feixe de laser por meio de um atuador mecânico linear (Figura 5). O atuador move o bico a uma velocidade constante de 0,2 m s⁻¹ de modo que todo o jato passe pelo feixe do laser.

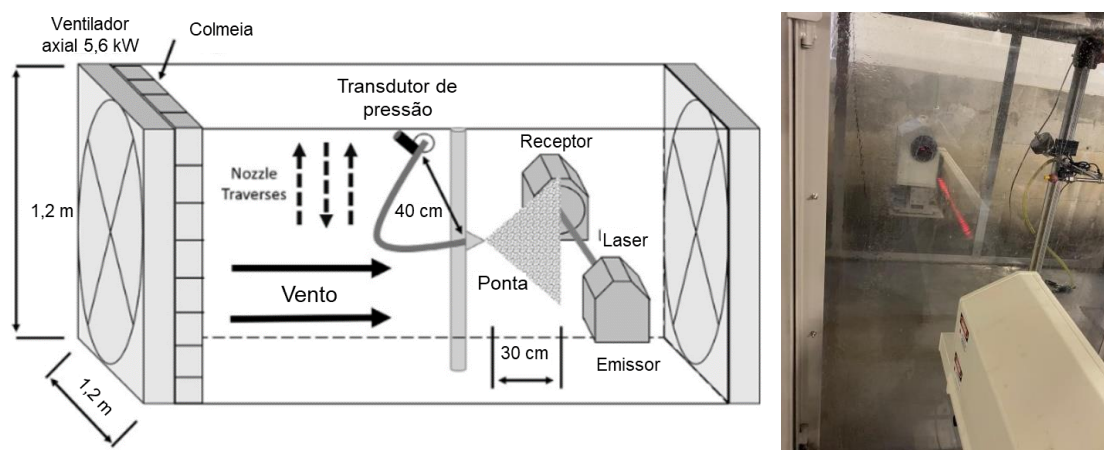


Figura 5 - Esquema do túnel de vento e sistema de difração de laser utilizado para a análise de espectro de gotas da University of Nebraska-Lincoln. Fonte esquema: Butts et al., 2019.

Foto: Oliveira, J.V. (2020).

Para cada tratamento foi mensurado o diâmetro de 10%, 50% e 90% do volume total pulverizado ($Dv_{0,1}$, $Dv_{0,5}$ e $Dv_{0,9}$), outro parâmetro analisado foi o percentual, em relação ao volume, de gotas menores que 100 μm e 150 μm –

percentual de gotas finas (gotas com potencial risco de deriva) e o relative span (RS). O RS é o parâmetro que indica a uniformidade do espectro de gotas, calculado pela equação 1 (ASABE, 2016).

$$RS = \left(\frac{DV_{0,9} - DV_{0,1}}{DV_{0,5}} \right) \quad (1)$$

Durante a aplicação, o módulo deslocou a ponta de pulverização pelo feixe do laser três vezes, cada passada como uma repetição. A distância do centro da ponta de pulverização ao laser é de 30 cm. Henry et al. (2014) e Creech et al. (2015) fornecem informações detalhadas sobre o túnel de vento de baixa velocidade e sua operação no PAT Lab.

Foram verificados os pressupostos e aplicado a ANOVA e as médias agrupadas pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Propriedades físicas e químicas

Os valores referentes às análises de pH, condutividade elétrica, densidade, viscosidade dinâmica e tensão superficial de cada calda de pulverização e água estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Média das propriedades físicas e químicas das caldas de pulverização.

Soluções	pH	Condutividade	Densidade	Viscosidade	Tensão
		elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$)		dinâmica (mPa s^{-1})	superficial (mN m^{-1})
Água	7,47 a	748,25 a	0,9988 e	0,9960 g	72,85 a
Glufosinato (GA)	7,40 b	2,25	1,0003 c	1,0213 f	30,07 b
GA + NIS	7,26 d	2,03 c	1,0003 c	1,0370 e	30,86 b
GA + SIL	7,35 c	2,30 c	1,0008 b	1,1235 b	23,38 d
GA + HSOC	7,43 a	2,13 c	0,9999 d	1,0435 e	31,28 b
GA + VOC	7,07 e	2,08 c	1,0002 c	1,0783 c	30,86 b
GA + MVO	7,44 a	2,20 c	0,9998 d	1,0435 e	30,08 b

GA + DRA	7,41 b	2,48 c	1,0006 b	1,3843 a	30,08 b
GA + COC	6,95 f	2,04 c	0,9983 e	1,1390 b	29,28 c
GA + HUM	6,88 f	2,21 c	1,0006 b	1,0333 e	30,38 b
GA + WC	6,85 f	30,23 b	1,0142 a	1,0583 d	29,37 c

Letras iguais não apresentam diferença significativa pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Na variável pH, os valores variaram de 7,47 a 6,85, em que a água obteve o maior valor, em seguida as caldas de herbicida com a adição de adjuvante HSOC e MVO, não diferindo significativamente. O menor valor foi observado para a calda de GA + WC, porém não diferiu significativamente das caldas GA + COC e GA + HUM. O herbicida utilizado de maneira isolada apresentou pH de 7,40, a adição do adjuvante na calda de herbicida resultou tanto no aumento quanto na redução do pH, somente o adjuvante DRA que não diferiu em relação ao herbicida sem adição de adjuvante.

Características como o pH das caldas de pulverização são de extrema importância no que tange a eficácia de alguns produtos (CUNHA; ALVES, 2009). Relatos indicam que à medida que a concentração de íons de hidrogênio aumenta (pH básico), os produtos ácidos tornam-se mais solúveis enquanto os básicos podem se tornar menos solúveis (OKUMURA; PEREIRA JÚNIOR, 2011). Desta maneira, a constante de dissociação de muitas moléculas depende do pH, o que influencia também na absorção pelos tecidos vegetais da planta (CUNHA et al., 2017). Entretanto, a ação dos adjuvantes sobre o pH da calda de pulverização é variada, como visto nesse estudo, podendo levar ao seu aumento, redução ou inalteração (GREEN; BEESTMAN, 2007) como observado por Bueno et al., (2013), em que não foram observadas alterações significativas nos valores de pH em caldas com e sem adjuvante.

Os valores correspondentes à densidade obtiveram amplitude de 0,0159 g cm⁻³. Todas as caldas de pulverização apresentaram valores maiores que a água, exceto o tratamento GA + COC, que obteve diferença, com densidade de 0,9983 g cm⁻³. O maior valor foi observado para a calda GA + WC, com densidade de 1,0142 g cm⁻³, sem considerar essa calda com o maior valor a amplitude cai para 0,0025 g cm⁻³. Assim como observado por Moraes et al., (2019), Polli (2021) e Fritz et al., (2017) a adição de adjuvantes tende a aumentar

a densidade da calda de pulverização. Entretanto, a amplitude desta variável para todos os tratamentos pode ser considerada pequena. Dessa forma, diferenças não significativas nos valores de densidade para diferentes adjuvantes já foram relatadas (CUNHA; ALVES, 2009; OLIVEIRA, 2011). Matuo et al., (1989), também descreveram que as concentrações empregadas de adjuvantes são pequenas e a dose não influencia significativamente na densidade das soluções.

A viscosidade dinâmica apresentou valores de 0,9960 a 1,3843 mPa s⁻¹, e conforme observado por Moraes et al., (2019), o impacto da adição de adjuvantes na calda de pulverização foi maior nos valores desta variável do que na densidade. Para todas as caldas foi observado aumento da viscosidade em relação à testemunha (água). Para os tratamentos do herbicida com adição de SIL, COC, e DRA foram observados os maiores valores, sendo, 1,1235, 1,1390 e 1,3843 mPa s⁻¹ respectivamente, este último diferenciou dos demais. Há relatos de que a variação esperada é de 1,13 a 1,34 mPa s⁻¹ para caldas contendo ingredientes ativos, tal diferença pode ser explicada devido aos diferentes tipos de produtos utilizados (FRITZ et al., 2014).

Assim como observado no presente estudo, em que o tratamento do herbicida combinado com o DRA obteve maior valor de viscosidade, trabalhos anteriores mostram que tais produtos à base de polímero (goma de guar) alteram as propriedades viscoelásticas da calda de pulverização aumentando a viscosidade e, conseqüentemente, reduzindo o potencial de deriva (SCHAMPHELEIRE et al., 2009; MORAES et al., 2019).

A viscosidade é uma variável que expressa a resistência do fluido ao fluxo, dessa forma, quanto maior o valor, maior a resistência. Esta se torna importante em estudo de escoamentos, pois oferece resistência ao cisalhamento, dificultando o seu fluxo em tubulações, principalmente. Assim, o grau de pulverização está diretamente ligado à viscosidade e escoamento de determinada solução (CHORILLI et al., 2007).

Ao aumentar a viscosidade, o líquido a ser pulverizado tende a resistir ao alongamento e o aumento do índice de cisalhamento, com a alteração destes dois fatores as gotas formadas pelas pontas serão de diâmetro maior, assim, haverá uma menor fração de gotas sujeitas à deriva (MATUO, 1990; ROQUE et al., 2019).

Normalmente, as alterações nas variáveis densidade e viscosidade são pequenas devido a concentração recomendada do adjuvante ser relativamente baixa em relação à quantidade total de água necessária para preparar a calda de pulverização (CUNHA; ALVES, 2009). No entanto, mudanças mínimas destas características podem influenciar em vários fatores, como o tamanho e o espectro da gota (ASSUNÇÃO et al., 2019), o que pode influenciar diretamente na qualidade da aplicação e no desempenho do herbicida.

Foi observada ainda, para todas as caldas de pulverização, redução acentuada da condutividade elétrica quando comparado à água ($748,25 \mu\text{S cm}^{-1}$), isso por conta das características dessa água analisada. Já entre as caldas com a adição de adjuvante e o herbicida isolado não houve diferença significativa, exceto na calda GA + WC, com valor de $30,23 \mu\text{S cm}^{-1}$.

A condutividade elétrica está ligada à presença de íons dissociados nas soluções, sua concentração e valência e, desta forma, é dependente da composição dos elementos da calda, além disso, valores mais elevados na calda de pulverização indicam a presença destes íons, os quais podem diminuir a eficácia biológica do produto aplicado (RHEINHEIMER; SOUZA, 2000; CUNHA et al., 2017).

Como observado no presente trabalho, todas as caldas de pulverização apresentaram valores reduzidos de condutividade elétrica se comparados à testemunha, apenas com água, o que, possivelmente, poderia ser atribuído ao herbicida, visto que, este analisado separadamente, apresentou valores semelhantes aos tratamentos combinados com adjuvantes. As propriedades químicas do herbicida glufosinato de amônio podem, possivelmente, ter alterado os índices de condutividade elétrica. Oliveira (2011) relata que o aumento da concentração de adjuvante proporcionou aumento significativo na condutividade elétrica das soluções. Entretanto, as caldas analisadas pelo autor continham apenas água + adjuvante, já neste trabalho as caldas eram constituídas de herbicida + adjuvante. Dessa forma, o autor conclui que tal elevação se deu em função das características intrínsecas das formulações dos adjuvantes já que estes foram combinados apenas com água.

Essa variável possui a capacidade de influenciar na eficácia biológica de alguns produtos (CARLSON; BURNSIDE, 1984; RHEINHEIMER; SOUZA, 2000). A condutividade aliada à constante dielétrica pode afetar a aquisição de

carga elétrica pelas gotas pulverizadas, dessa forma, maiores cargas elétricas são encontradas em gotas pulverizadas em soluções de maior condutividade, o que indica que os adjuvantes também podem ser bons aliados na pulverização eletrostática (MASKI; DURAIRAJ, 2010). Mesmo com alguns estudos realizados com a condutividade elétrica, estudos mais aprofundados são necessários para melhor compreensão da sua influência na pulverização e na eficácia.

Em todas as caldas de pulverização, a tensão superficial diminuiu em relação ao valor da água ($72,85 \text{ mN m}^{-1}$), observando-se variação de $23,38$ a $31,28 \text{ mN m}^{-1}$. O herbicida analisado de maneira isolada obteve valor de $30,07 \text{ mN m}^{-1}$. Analisando os tratamentos com herbicida e adição de adjuvante os valores ficaram próximos, com exceção do GA + SIL ($23,38 \text{ mN m}^{-1}$), assim, para efeito comparativo e não considerar este tratamento, os valores variaram de $29,28$ a $31,28 \text{ mN m}^{-1}$, o que mostra uma pequena variação. Já o tratamento que obteve maior valor foi o GA + HSOC ($31,28 \text{ mN m}^{-1}$), porém não diferenciou significativamente da maioria das caldas analisadas.

Resultados semelhantes foram reportados por Fritz et al., (2017) e Moraes et al., (2019), analisando o glifosato combinado com diferentes adjuvantes, tais autores relataram que a adição destes diminuiu a tensão superficial em comparação ao tratamento apenas com água. Polli (2021) também encontrou resultados semelhantes relacionados à redução da tensão superficial em duas formulações de glufosinato combinados com adjuvantes.

O objetivo principal de um adjuvante é reduzir a tensão superficial e aumentar o contato entre a gota de pulverização e a superfície alvo. Os adjuvantes que são, em sua grande maioria, à base de óleo tendem a aumentar a penetração do herbicida, mas também podem reduzir a tensão superficial (CURRAN, 2009). No entanto, o desempenho dos adjuvantes é dependente do herbicida com o qual são aplicados, da superfície alvo e das condições ambientais (KNEZEVIC et al., 2009).

A tensão superficial de um produto está diretamente relacionada à polaridade de sua estrutura química. A água apresenta maior tensão superficial porque sua superfície altamente polar é rica em pontes de hidrogênio, resultando em dificuldades na umectação da superfície apolar (TU; RANDALL, 2003).

Adjuvantes classificados como surfatantes, pertencentes à classe dos adjuvantes ativadores, são amplamente relatados como redutores da tensão

superficial em soluções de herbicidas (OGINO et al., 1990; FERRI; STEBE, 2000; CURRAN et al., 2009; MORAES et al., 2019). E como observado neste estudo, a maior redução da tensão superficial foi encontrada para o tratamento GA + SIL, resultado também relatado por Oliveira (2011) em que as soluções contendo surfatantes organo-silicones proporcionaram maior redução deste parâmetro.

Ademais, há relatos que os surfatantes facilitam ou melhoram a emulsificação, dispersão, molhamento e adesão das moléculas do produto no tanque de mistura, bem como reduzem a tensão superficial da água, como já mencionado (KIRKWOOD et al., 1999). No entanto, fatores como a natureza e concentração do surfatante, a presença de outros adjuvantes (QAZI, 2020), a formulação do herbicida (CASTRO et al., 2018) bem como a umidade relativa (TORRECILA et al., 2008; POLLI, 2021) podem afetar a tensão superficial.

A concentração do adjuvante também é dita como fator decisivo no resultado final da aplicação, dessa forma, com o aumento da concentração de um surfatante na calda, geralmente, reduz-se a tensão superficial e, possivelmente, aumenta-se a probabilidade da gota aderir à folha molhando a superfície melhorando assim, a penetração do produto pela cutícula da folha. Alguns surfatantes atuam ainda, aumentando o tamanho de gotas reduzindo as probabilidades de deriva dos produtos (TU; RANDALL, 2003).

2.3.2 Espectro de gotas

Como esperado, a fragmentação da calda de pulverização em gotas é alterada de acordo com a solução pulverizada, o que é apresentada pelo diâmetro de 10, 50 e 90% do volume, apresentados na figura 6, além da amplitude relativa (RS) e percentual de gotas menores que 100 μm (V100) e 150 μm (V150), presentes na Figura 7.

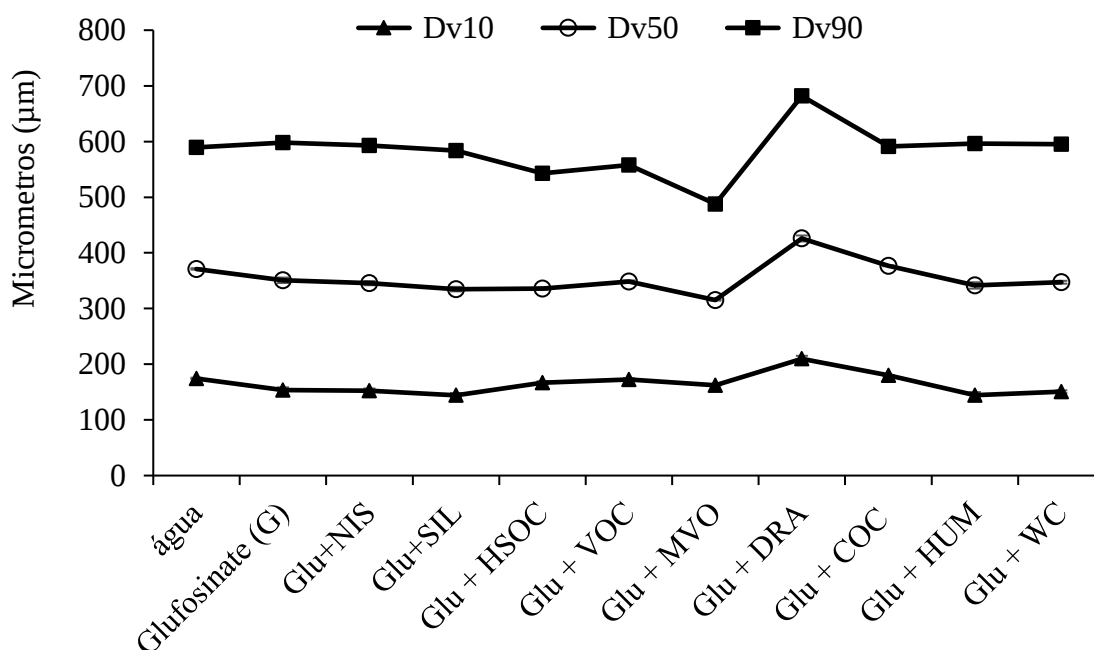


Figura 6 - Parâmetros do espectro de gotas em função das diferentes caldas de aplicação de Glufosinato sem e com diferentes classes de adjuvantes.

A adição do adjuvante DRA resultou em maiores diâmetros para Dv10, 50 e 90, com valores de 210, 426 e 682 μm, respectivamente.

Analisando o diâmetro em 10% do volume (Dv10), o menor valor foi observado para a solução contendo o adjuvante organosilicone (SIL) com 144 μm, o que representa redução de 31% em relação ao maior valor, encontrado na adição de DRA. Este, como mencionado, apresentou maior valor, seguido do tratamento contendo o adjuvante COC (179,82 μm), o que representa uma diferença de 14% entre eles.

Para o Dv50, ou diâmetro mediano volumétrico (DMV), houve variação de 26% entre o maior valor (GA + DRA) e o menor (GA + MVO). A calda de pulverização com adição do adjuvante COC apresentou segundo maior diâmetro (376,84 μm) e variação de 12% em relação ao maior, seguido do herbicida sozinho (350,84 μm).

No Dv90, a amplitude entre o maior e menor valor foi de 28%, com 682 μm para GA + DRA e 488 μm encontrado para GA + MVO. O Dv90 se apresentou como a variável com menores percentuais de variação entre os tratamentos, visto que, os maiores ficaram concentrados no maior e menor diâmetro. Em

comparação do Dv_{10} e Dv_{90} , a variação ficou entre 67 e 76%, com a adição do MVO e HUM, respectivamente.

É relatado que, a partir do espectro de gotas, é possível prever os resultados de uma aplicação. Se produzidas gotas de diâmetro pequeno, aumentam-se as chances de melhor cobertura do produto aplicado sobre o alvo, entretanto, essas são mais facilmente arrastadas por deriva. Em contrapartida, gotas muito grossas podem mitigar tais riscos de deriva, porém, diminuem a cobertura e podem prejudicar a retenção pelas folhas em função do escorrimento, ricocheteio e cisalhamento das gotas (SCHOU et al., 2012).

Polli (2021) analisando o espectro de gotas resultante da interação de determinado herbicida, condicionador de água e diferentes adjuvantes surfatantes não-iônicos (NIS), observou maiores valores de $Dv_{0.5}$ quando estes eram combinados com agente redutor de deriva (DRA), corroborando com o presente estudo, em que foram observados maiores diâmetros para 10, 50 e 90% do volume quando o herbicida foi combinado ao DRA.

Como mencionado, o tamanho das gotas é um fator decisivo na deposição, tanto dentro como fora do alvo, por estar relacionado à perda de fitossanitários para o ambiente. Os adjuvantes classificados como agentes redutores de deriva alteram características físico-químicas da calda, como a viscosidade, de forma que o aumento desta variável promove espectro de gotas com maior $Dv_{0.5}$ (FRITZ et al., 2012; SILVA et al., 2014).

O $Dv_{0.5}$ ou diâmetro mediano volumétrico (DMV) representa o diâmetro do tamanho das gotas de igual a menor valor compreendendo 50% do volume total de gotas pulverizadas (MATUO, 1990). A partir do aumento deste parâmetro reduz-se o número de gotas com menores diâmetros, as quais são facilmente desviadas do alvo pelo vento (HEWITT et al., 1993). Assim como o $Dv_{0.5}$ representa o diâmetro do tamanho das gotas de igual a menor valor compreendendo 50% do volume total de gotas pulverizadas, os valores de $Dv_{0.1}$ e $Dv_{0.9}$ são os diâmetros de tamanho de gotas de valor igual ou inferior compreendendo 10 e 90%, respectivamente, do volume total de pulverização (MATUO, 1990).

Os adjuvantes redutores de deriva são relatados como agentes que alteram a viscosidade da calda produzindo um espectro de gotas com maior DMV, e consequentemente, reduzindo o número de gotas com menores

diâmetros, que são facilmente desviadas do alvo (HEWITT et al., 1993). Assim como observado neste estudo, a calda de pulverização GA + DRA foi a que obteve maior viscosidade e maiores valores de DMV. Tais adjuvantes são comumente compostos de polímeros com poliacrilamidas, polissacarídeos e certos tipos de gomas (TU; RANDALL, 2003). Zhu et al., (1997) observou que o DMV produzido por pontas tradicionais aumentou proporcionalmente a medida que a taxa do adjuvante a base poliacrilamida foi aumentada. Ademais, resultados obtidos por Hewit (1998) e Oliveira (2011) reforçam a ideia de que adjuvantes a base de goma, polissacarídeos e poliacrilamidas tendem a aumentar o DMV e reduzir o percentual de gotas menores do que 100 μm (V100) e ainda, os adjuvantes a base de polímeros podem aumentar o DMV em limites de 45% até mais de 145% em comparação com a água (SPANOGHE et al., 2007).

Dentro deste contexto, a formação da gota é dita como resultado da interação entre a ponta e o líquido de pulverização, dessa forma, o desempenho da ponta pode ser fortemente afetado pelas propriedades dos líquidos e pela adição de adjuvantes (DE RUITER, 2002).

Alves et al., (2018) avaliando o espectro de gotas produzido por diferentes pontas de pulverização em misturas de herbicida com adjuvantes relatam que, quando pulverizados através da ponta que produziu gotas mais grossas, o óleo vegetal reduziu o $Dv_{0,5}$ em 18% em comparação ao herbicida sozinho, tal adjuvante reduziu o tamanho das gotas, o que, conseqüentemente, aumentou a deriva em relação ao herbicida, embora produzindo V100 inferior. E como observado no presente estudo, a calda contendo óleo vegetal modificado (MOV) obteve menor valor de Dv_{50} e Dv_{90} (redução de 28%).

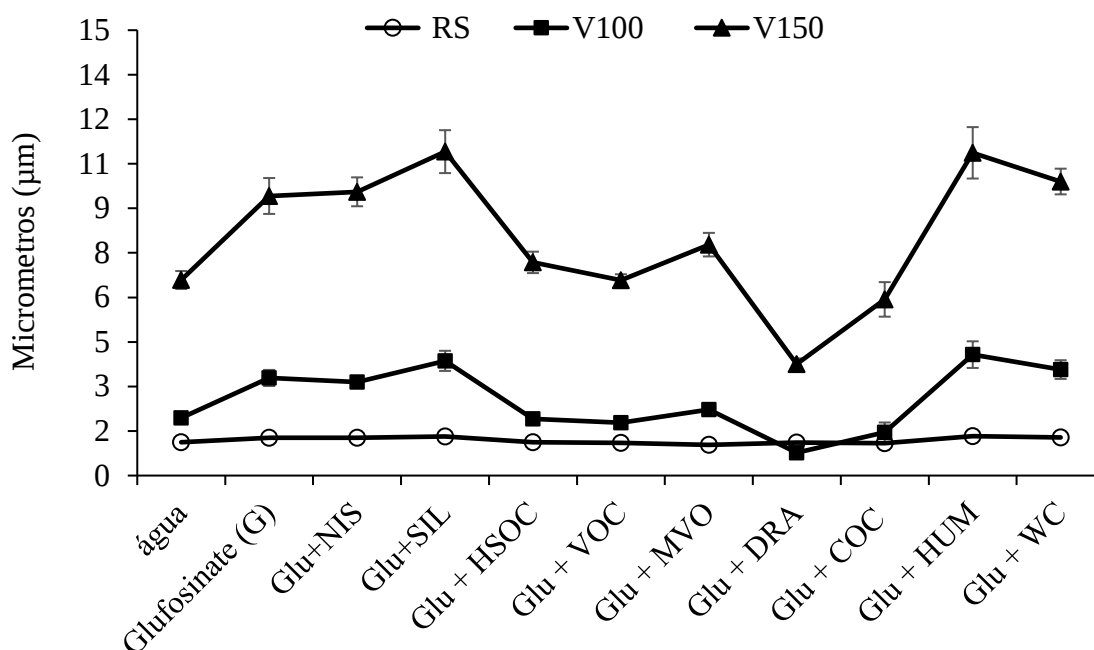


Figura 7 - Parâmetros do espectro de gotas em função das diferentes caldas de aplicação de Glufosinato sem e com diferentes classes de adjuvantes.

Analisando o percentual de gotas finas, menores que 100 e 150 µm, observa-se que este é dependente das propriedades da calda pulverizada. Nas gotas menores que 100 µm somente o herbicida apresentou 3,29% enquanto a adição do adjuvante redutor de deriva (DRA) foi de 0,77%, dessa forma, reduz-se de maneira acentuada o potencial risco de deriva. Por outro lado, os adjuvantes WC, SIL e HUM aumentaram o percentual para 3,57, 3,86 e 4,07%, respectivamente. Para a análise de V150, a calda que apresentou o maior percentual foi GA + SIL.

Tais parâmetros analisados no espectro de gotas indicam o potencial de deriva da calda de pulverização, em que o DMV, o V100 e V150 apresentam correlação direta com esse potencial, assim, o risco de deriva aumenta à medida que os valores de DMV diminuem e os de V100 e V150 aumentam (ANTUNIASSI; BOLLER, 2011; OLIVEIRA et al., 2015). Dessa forma, o percentual de gotas finas, menores que 100 e 150 µm, representa as gotas de pulverização com maior risco de deriva.

As pulverizações realizadas com gotas de diâmetro menor que 200 µm têm maior chance de evaporarem e serem desviadas pelo vento com maior facilidade pelo vento antes de atingir o alvo (FRITZ et al., 2012).

Assim como observado nas análises para Dv10, 50 e 90, em que a adição de DRA ao herbicida resultou em maiores diâmetros destes volumes, constatou-se, também, menor percentual de gotas finas (V100 e V150) quando este adjuvante foi combinado ao herbicida, o que sugere, menor quantidade de gotas finas ou de menor diâmetro, bem como reduzido risco de deriva para esta calda de pulverização.

A amplitude relativa (RS) foi calculada para cada calda de pulverização com o objetivo de analisar a uniformidade do espectro de gotas. Para todas as caldas houve variação de 22% (1,03 a 1,33). O menor valor foi observado pela adição do adjuvante MVO, apresentando maior uniformidade na distribuição das gotas pelo diâmetro, enquanto o maior valor, devido à adição de HUM, apresentou maior variabilidade no tamanho das gotas analisadas Dv10, 50 e 90.

Como mencionado, a RS está diretamente relacionada à uniformidade do espectro de gotas, sendo calculada pela diferença entre $DV_{0,9}$ e $DV_{0,1}$ dividido pelo DMV, em que, maiores valores representam menor uniformidade da pulverização (CUNHA et al., 2004; SASAKI et al., 2016). Dessa forma, é desejado menor valor de RS para que se obtenha uma aplicação mais uniforme (CUNHA et al., 2004).

2.4 CONCLUSÃO

A adição de adjuvantes modificou todos os parâmetros avaliados;

Houve maiores variações na viscosidade do que na densidade.

O adjuvante DRA combinado ao herbicida apresentou melhores parâmetros para redução de deriva (maiores valores de viscosidade, $DV_{0,5}$, V_{100} e V_{150}).

2.5 REFERÊNCIAS

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.

ANTUNIASSI, U. R. Conceitos básicos da tecnologia de aplicação de defensivos para a cultura da soja. **Boletim de Pesquisa de Soja 2009**. Rondonópolis: Fundação Mato Grosso, v. 13, p. 299-317. 2009.

ANTUNIASSI, U. R., BOLLER, W. Tecnologia de aplicação de fungicidas. In: **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, p. 221-229, 2011.

ASSUNCAO, H. H., CAMPOS, S. F., SOUSA, L. A., LEMES, E. M., ZANDONADI, C. H., CUNHA, J. P. Adjuvants plus phytosanitary products and the effects on the physical-chemical properties of the spray liquids. **Bioscience Journal**, v. 35, n. 6, p. 1878-1885, 2019.

BUENO, M. R., CUNHA, J. P. A. R., ROMAN, R. A. A. Tamanho de gotas de pontas de pulverização em diferentes condições operacionais por meio da técnica de difração do raio laser. **Engenharia Agrícola**, v.34, n.5, p.976-985, 2013.

CARLSON, K. L., BURNSIDE, O. C. Comparative phytotoxicity of glyphosate, SC-0224, SC-0545, and HOE-00661. **Weed Science**, v. 32, n. 6, p. 841-884, 1984.

CASTRO, E., CARBONARI, C., VELINI, E., GOMES, G., BELAPART, D. Influence of adjuvants on the surface tension, deposition and effectiveness of herbicides on fleabane plants. **Planta Daninha**, v. 36, p. 1-9, 2018.

CHAHAL, G. S., JOHNSON, W. G. Influence of glyphosate or glufosinate combinations with growth regulator herbicides and other agrochemicals in controlling glyphosate-resistant weeds. **Weed Technology**, v. 26, n. 4, p. 638-643, 2012.

CHECHETTO, R. G., ANTUNIASSI, U. R., MOTA, A. A. B., CARVALHO, F. K., SILVA, A. C. A., VILELA, C. M. Influência de pontas de pulverização e adjuvantes no potencial de redução de deriva em túnel de vento. **Semina**, v. 34, n. 1, p. 37-46, 2013.

CHORILLI, M. C. Influência da viscosidade do veículo na liberação in vitro da cafeína. **Revista Eletrônica de Farmácia**, v. 4, n. 1, 2007.

CRAIGMYLE, B. D., ELLIS, J. M., BRADLEY, K. W. Influence of weed height and glufosinate plus 2,4-d combinations on weed control in soybean with resistance to 2,4-d. **Weed Technology**, v. 27, n. 2, p. 271-280, 2013.

CUNHA, J. P. A. R., TEIXEIRA, M. M., VIEIRA, R. F., FERNANDES, H. C., COURRY, J. R. Espectro de gotas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano e de jato cônico vazio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 977-985, 2004.

CUNHA, J. P. A. R., ALVES, G. Características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. **Interciência**, v. 34, n. 9, p. 655-659, 2009.

CUNHA, J. P. A. R., ALVES, G. S., REIS, E. F. Efeito da temperatura nas características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. **Planta Daninha**, v. 28, n. 3, p. 665-672, 2010.

CUNHA, J. P. A. R., ALVES, G., MARQUES, R. S. Tensão superficial, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica de caldas de produtos fitossanitários e adjuvantes. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.48, n.2, p.261-270, 2017.

CURRAN, W., LINGENFELTER, D. Adjuvants for enhancing herbicide performance. In **Agronomy Facts** 37. University Park, PA: Pennsylvania State University, 2009.

DE RUITER, H. Developments in adjuvant use for agrochemicals. **Meded Rijksuniv Gent Fak Landbouwkd Toegep Biol Wet**, v. 67, n. 2, p.19-25, 2002.

EVERMAN, W. J., MAYHEW, C. R., BURTON, J. D., YORK, A.C., WILCUT, J. W. Absorption, Translocation, and Metabolism of ¹⁴C-glufosinate in glufosinate-resistant corn, goosegrass (*Eleusine indica*), large crabgrass (*Digitaria sanguinalis*), and Sicklepod (*Senna obtusifolia*). **Weed Science**, v. 57, n. 1, p. 1-5, 2009.

FERRI, J. K., STEBE, K. J. Which surfactants reduce surface tension faster? A scaling argument for diffusion-controlled adsorption. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 85, n.1, p. 61-97, 2000.

FRITZ, B. K., HOFFMANN, C. W., BAGLEY, E. Effects of formulated glyphosate and adjuvant tank mixes on atomization from aerial application flat fan nozzles. **Pesticide Formulations and Delivery Systems**, v. 32, p. 80-95, 2012.

FRITZ, B. K., HOFFMANN, W. C., KRUGER, G. R., HENRY, R. S., HEWITT, A., CZACZYK, Z. Comparison of drop size data from ground and aerial application nozzles at three testing laboratories. **Atomization Sprays**, v. 24, n. 2, p. 181-192, 2014.

FRITZ, B. K., HOFFMANN, W.C., GIZOTTI-DE-MORAES, J., GUERREIRO, M., GOLUS, J., KRUGER, G. R. The impact of spray adjuvants on solution physical properties and spray droplet size. **Pesticide Formulation and delivery Systems**, v. 37, p. 22-32. 2017.

GALON, L., CONCENÇO, G., FERREIRA, E. A., SILVA, A. F., FERREIRA, F. A., NOLDIN, J. A., FREITAS, M. A. M. Competição entre plantas de arroz e biótipos de capim-arroz (*Echinochloa* spp.) resistente e suscetível ao quinclorac. **Planta Daninha**, v. 27, p. 701- 709, 2007.

GANDOLFO, M. A., CARVALHO, F. K., CHECHETTO, R. G., GANDOLFO, U. D., MORAES, E. D. Effect of working pressure at different spray nozzles on drift quantification in wind tunnel. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 1, p. 66-73, 2014.

GIMENES, M. J., ZHU, H., RAETANO, C. G., OLIVEIRA, R. B. Dispersion and evaporation of droplets amended with adjuvants on soybeans. **Crop Protection**, v. 44, p. 84–90, 2013.

GREEN, J. M., BEESTMAN, G. B. Recently patented and commercialized formulation and adjuvant technology. **Crop Protection**, v. 26, n. 3, p. 320-327, 2007.

HAO, J., LU, J., LEE, L., WU, Z., HU, G., FLORYAN, J. M. Droplet splashing on an inclined surface. **Physical review letters**, 122(5), 2019.

HEAP, I. **The International Herbicide-Resistant Weed Database**. Online. Tuesday, March 16, 2021.

HEWITT, H. J., HUDDLESTON, E. W., SANDERSON, R., ROSS, J. B. Effect of adjuvants and formulations on aerial spray drift potential. **Pest Management Science**. v. 37, n. 2, p. 209-211, 1993.

KAUR, S., SANDELL, L. D., LINDQUIST, J. L., JHALA, A. J. Glyphosate-resistant giant ragweed (*Ambrosia trifida*) control in glufosinate-resistant soybean. **Weed Technology**, v. 28, n. 4, p. 569-577, 2014.

KIRKWOOD, R. C. Recent developments in our understanding of the plant cuticle as a barrier to the foliar uptake of pesticides. **Pesticide Science**, v. 55, p. 69-77, 1999.

KNEZEVIC, S. Z., DATTA, A., SCOTT, J., KLEIN, R. N., GOLUS, J. Problem weed control in glyphosate-resistant soybean with glyphosate tank mixes and soil-applied herbicides. **Weed Technology**, v. 23, p. 507–512, 2009.

MASKI, D., DURAIRAJ, D. Effects of electrode voltage, liquid flow rate, and liquid properties on spray chargeability of an air-assisted electrostatic-induction spray charging system. **Journal of Electrostatics**, v. 68, n. 2, p. 152-158, 2010.

MATUO, T., NAKAMURA, S. H., ALMEIDA, A. Efeito de alguns adjuvantes da pulverização nas propriedades físicas do líquido. **Summa Phytopathologica**, v. 15, n. 2, p. 163-173, 1989.

MATUO, T. **Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas**. Jaboticabal: FUNEP, p. 139, 1990.

MORAES, J. G., LUCK, J. D., ANTUNIASSI, U. R., HOFFMANN, W. C., KRUGER, G. R. Effect of adjuvants on physical properties of glyphosate and PPO-Inhibiting Herbicide Spray Mixtures. **Pesticide Formulation and Delivery Systems**, v. 39, p. 64-74, 2019.

OGINO, K., ONOE, Y., ABE, M., ONO, H., BESSHO, K. Reduction of surface tension by novel polymer surfactants. **Langmuir**, v. 6, n. 7, p. 1330. 1990.

OKUMURA, M. H., PEREIRA JÚNIOR, H. R. J. Recuperação de áreas degradadas pela agricultura convencional, com auxílio da agricultura orgânica. **Revista Complexus**, v. 2, n. 4, p.145-160, 2011.

OLIVEIRA, R. B. **Caracterização funcional de adjuvantes em soluções aquosas**. 121 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, 2011.

OLIVEIRA, R. B., ANTUNIASSI, U. R., GANDOLFO, M. A. Spray adjuvante characteristics affecting agricultural spraying drift. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 1, p. 109–116, 2015.

PETERSEN, J., HURLE, K. Influence of climatic conditions and plant physiology on glufosinate-ammonium efficacy. **Weed Research**, v. 41, n. 1, p. 31-39, 2001.

POLLI, E. G. **The influence of adjuvants on physical properties, droplet-size, and efficacy of glufosinate and dicamba plus glyphosate solutions**. Master's thesis. Lincoln, NE: University of Nebraska, 2021.

PROCÓPIO, S.O., PIRES, F. R., MENEZES, C. C. E., BARROSO, A. L. L., MORAES, R. V., SILVA, M. V. V., QUEIROZ, R. G., CARMO, M. L. Efeitos de dessecantes no controle de plantas daninhas na cultura da soja. **Planta Daninha**, v. 24, p. 193-197, 2006.

QAZI, M. J., SCHLEGEL, S. J., BACKUS, E. H., BONN, M., BONN, D., SHAHIDZADEH, N. Dynamic surface tension of surfactants in the presence of high salt concentrations. **Langmuir**, v. 36, n. 27, p. 7956-7964, 2020.

RHEINHEIMER, D. S., SOUZA, R. O. Condutividade elétrica e acidificação de águas usadas na aplicação de herbicidas no Rio grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 30, n. 1, p. 97-104, 2000.

ROQUE, N. H. L., ALMEIDA, D. P., DECARO, R. A., FERREIRA, M. C. **Caracterização de pH, condutividade elétrica e viscosidade de caldas com adjuvantes e herbicidas utilizadas na cultura da cana-de-açúcar**. In: V Congresso Brasileiro de Fitossanidade, Anais... 2019. Curitiba, 2019.

SASAKI, R. S., TEIXEIRA, M. M., SANTIAGO, H., MADUREIRA, R. P., MACIEL, C. F. S., FERNANDES, H. C. Adjuvantes nas propriedades físicas da calda, espectro e eficiência de eletrificação das gotas utilizando a pulverização eletrostática. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.2, p.274-279, 2015.

SASAKI, R. S., TEIXEIRA, M. M., MACIEL, C. F. S., ALVARENGA, C. B., FORASTIERE, P. R. Espectro das gotas produzidas por pontas de jato plano duplo defasado com indução de ar. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 24, n. 3, p. 211, 2016.

SCHAMPHELERE, M., NUYTTENS, D., BAETENS, K., SPANOGHE, P., STEURBAUT, W., SONCK, B., VERBOVEN, P., NICOLAI, B., RAMON, H. The assessment of spray drift damage for grassland in Belgium. **Aspects of Applied Biology**, v. 77, p. 275-280, 2006.

SCHOU, W., FORSTER, W., MERCER, G., TESKE, M., THISTLE, H. Building canopy retention into AGDISP: preliminary models and results. **Transaction American Society of Agricultural Engineer**, v. 55, p. 2059- 2066, 2012.

SILVA, J. E. R., CUNHA, J. P. A. R, NOMELINI, Q. S. S. Deposição de calda em folhas de cafeeiro e perdas para o solo com diferentes taxas de aplicação e pontas de pulverização. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.12, p.1302-1306, 2014.

SPANOGHE, P., SCHAMPHELEIRE, M., VAN DER MEEREN, P., STEURBAUT, W. Influence of agricultural adjuvants on droplet spectra. **Pesticide Management Science**, v. 64, p. 4-16, 2007.

STOCK, D., BRIGGS, G. Physiochemical properties of adjuvants: values and applications. **Weed Technology**. Champaign, v.14, p. 798-806, 2000.

TAKANO, H. K., DAYAN, F. E. Glufosinate-ammonium: A review of the current state of knowledge. **Pest Management Science**, v. 76, n. 12, p. 3911-3925, 2020.

TORRECILLA, J. S., RAFIONE, T., GARCÍA, J., RODRÍGUEZ, F. Effect of relative humidity of air on density, Apparent Molar Volume, viscosity, surface tension, and water content of 1-ethyl-3-methylimidazolium ethylsulfate ionic liquid. **Journal of Chemical & Engineering Data**, v. 53, n. 4, p. 923-928. 2008.

TRAVLOS, I., CHEIMONA, N., BILALIS, D. Glyphosate efficacy of different salt formulations and adjuvant additives on various weeds. **Agronomy**, v. 7, p. 60-68, 2017.

TU, M., RANDALL, J. M. **Adjuvants**. In: Weed control methods handbook the nature conservancy. Davis: TNC, p. 1-24, 2003.

VIDAL, R. A., SPADER, V., FLECK, N. G., MEROTTO JUNIOR, A. Nível de dano econômico de *Brachiaria plantaginea* na cultura de milho irrigado. **Planta Daninha**, v. 22, p. 63-69, 2004.

VOLL, E., GAZZIERO, D. L. P., BRIGHENTI, A. A. M., ADEGAS, F. S. Competição relativa de espécies de plantas daninhas com dois cultivares de soja. **Planta Daninha**, v. 20, p. 17-24, 2002.

ZHU, H., DEXTER, R. W., FOX, R. D., REICHARD, D. L., BRAZEE, R. D., OZKAN, H. E. Effects of polymer composition and viscosity on droplet size of recirculated spray solutions. **Journal Agricultural Engineer Resource**, v. 67, p. 35-45, 1997.

3. CAPÍTULO 2: INTERAÇÃO ENTRE DIFERENTES SUPERFÍCIES FOLIARES DE PLANTAS DANINHAS E CALDAS DE PULVERIZAÇÃO

3.1 INTRODUÇÃO

Glufosinato é um herbicida de contato de pós emergência, com translocação limitada nas plantas. Vem ganhando espaço cada vez mais no manejo, isso, devido ao aumento das plantas daninhas resistentes a glifosato (KAUR et al., 2014; CRAIGMYLE et al., 2013; CHAHAL e JOHNSON, 2012), amplo espectro de ação, ação rápida e às culturas geneticamente modificadas que toleram a aplicação desse herbicida (Liberty Link - LL®). Alguns fatores podem afetar o controle das plantas daninhas por esse herbicida (EVERMAN et al., 2009; PETERSEN e HURLE, 2001; ANDERSON, 1993). Desses fatores incluem as condições climáticas, tecnologia de aplicação, e as espécies de plantas daninhas (OLIVEIRA, 2020; POLLI, 2021; TAKANO, 2020). Com todas essas informações, o glufosinato pode ser caracterizado como um produto extremamente técnico, ou seja, requer muita atenção nas essas escolhas.

Visando auxiliar na aplicação correta dos agrotóxicos, algumas tecnologias têm sido pesquisadas e incorporadas as pulverizações agrícolas, dentre elas tem se ressaltado o uso dos adjuvantes agrícolas (SASAKI et al., 2015). Sua principal função é melhorar a eficácia do agrotóxico, uma característica que é realizada por meio de modificações nas propriedades da calda de pulverização via formação das gotas e impacto no alvo, cobertura e formação de depósitos, bem como desempenho do molhamento e retenção das gotas de pulverização na superfície foliar (HAO, 2019; TRAVLOS, 2017). Outros fatores como o tipo de superfície alvo, molhabilidade, ângulo de contato, orientação das folhas, bem como o tamanho da gota e a velocidade, irão influenciar como ocorre o impacto da gota quando atinge o alvo, ou seja, influenciam na qualidade e na eficácia da pulverização (ZWERTVAEGHER et al., 2014).

A retenção das gotas de pulverização depositadas nas superfícies foliares de plantas daninhas, é de extrema importância para a eficácia dos herbicidas, e está diretamente relacionada a área de molhamento e tempo de evaporação das gotas, o controle das plantas daninhas pode ser reduzido se o ingrediente ativo

não se espalhar uniformemente sobre o alvo (DAMATO et al., 2016; XU et al., 2010). O estudo dessas interações proporciona o melhor entendimento de diversos processos, um deles é a resistência das plantas daninhas, que pode ser ocasionada devido à má qualidade da pulverização dos agrotóxicos e como consequência a não absorção do ingrediente ativo necessário para controle (BUSI et al., 2015).

Para que o percentual que é depositado no alvo seja eficaz, o herbicida deve estar presente em uma concentração adequada por um período suficiente, para que possa ser absorvido pelo tecido vegetal e entrar em contato com o sítio de ação (LI et al., 2019). O controle das plantas daninhas ainda tem seus mistérios, e entender esse processo de interação das gotas contendo a calda de pulverização com a superfície foliar, possui grande potencial para responder vários questionamentos e auxiliar nas escolhas de produtos, de maneira geral (herbicidas e adjuvantes), que são mais eficazes para aquela condição em específica.

A hipótese assume que as diferentes classes de adjuvantes influenciam no controle e na interação do herbicida glufosinato nas plantas daninhas. O objetivo foi avaliar o efeito de diferentes classes de adjuvantes no controle e ângulo de contato do herbicida glufosinato em diferentes plantas daninhas.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório Pesticide Application Technology - PAT Lab (Figura 8) localizado no Centro de Pesquisa, Extensão e Educação da Universidade de Nebraska-Lincoln em North Platte-NE (EUA), durante o ano de 2020.

Foram utilizadas 10 caldas de pulverização, como apresentado na tabela 3, o herbicida Glufosinato de amônio foi utilizado o Liberty® (Bayer CropScience, Research Triangle Park, NC, USA) e nove adjuvantes: surfatante não-iônico (R11® - Wilbur-Ellis), surfatante organo-silicone (SYL-COAT® - Wilbur-Ellis), óleo surfatante altamente concentrado (Produto codificado - CRODA), óleo vegetal concentrado (Tronic® - KALO), óleo vegetal modificado (Produto codificado - CRODA), agente redutor de deriva (Intact® - Precision Laboratories), óleo concentrado (R.O.C® - Wilbur-Ellis), Umectante (Ampersand® - Attune),

condicionador de água (Bronc® - Wilbur-Ellis). As caldas foram preparadas com concentração para simular uma taxa de aplicação de 140 L ha⁻¹.

Tabela 3 - Produtos de pulverização utilizadas com suas respectivas doses.

Trt#	Caldas de pulverização	Doses
		(g ai ha ⁻¹ e % v v ⁻¹)
1	Testemunha	-
2	Glufosinato de amônio (GA)	328
3	GA + Surfatante não iônico (NIS)	328 + 0,37
4	GA + Surfatante organo-silicone (SIL)	328 + 0,18
5	GA + Óleo surfatante altamente concentrado (HSOC)	328 + 0,50
6	GA + Óleo vegetal concentrado (VOC)	328 + 0,37
7	GA + Óleo vegetal modificado (MVO)	328 + 0,50
8	GA + Agente redutor de deriva (DRA)	328 + 0,50
9	GA + <i>Crop oil concentrate</i> (COC)	328 + 1,67
10	GA + Umectante (HUM)	328 + 0,50
11	GA + Condicionador de água (WC)	328 + 5,00



Figura 8 - Laboratório que foi realizado os experimentos e plantas cultivadas em casa de vegetação.

Foto: Oliveira, J.V. (2020).

3.2.1 Plantas daninhas

As plantas foram cultivadas em casa de vegetação e sob com condições de temperatura e umidade relativa do ar controladas. As espécies utilizadas, (Figura 9) foram: *Abutilon theophrasti* Medik. (velvetleaf), *Bassia scoparia* (L.) A. J. Scott (kochia), *Amaranthus tuberculatus* (Moq.) J. D. Sauer (waterhemp), *Chenopodium album* L. (common lambsquarters), *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. (barnyardgrass), and *Setaria viridis* (L.) P. Beauv. (green foxtail). Foram semeadas em vasos (formato de cone, Stuewe and Sons Inc., Corvallis, OR, USA) com substrato comercial (Pro-Mix BX5, Premier Tech Horticulture Ltd, Riviere-du-Loup, Canadá) e após a emergência desbastadas. As plantas foram irrigadas diariamente utilizando fertilizante líquido comercial (UNL 5-1-4, Wilbur-Ellis Agribusiness, Aurora, CO, USA) e tratados semanalmente com *Bacillus thuringiensis* (Gnatrol WDG, Valent U.S.A., Walnut Creek, CA, USA) para evitar a incidência de *Trichoplusia* spp. e outros insetos. Com o objetivo de suprir a luz do dia e completar 16 horas/dia, a casa de vegetação possui uma luz LED de 520 $\mu\text{mol s}^{-1}$ (Philips Lighting, Somerset, NJ, USA).



Figura 9 – Espécies de plantas daninhas utilizadas nos experimentos.
Foto: Oliveira, J.V. (2020).

3.2.1.1 Características foliares das plantas daninhas utilizadas

Características foliares das plantas daninhas (STUBBENDIECK, 2003) utilizadas no experimento de controle e ângulo de contato:

Common Lambsquarter: folhas alternadas; com formato muito variável, estreita losangular a lanceoladas (3 a 6 cm de comprimento e 2 a 4 cm de largura), sem pelos, pontas pontiagudas, margens irregularmente onduladas ou dentadas, cobertas por um pó fibroso (presente com maior concentração na parte inferior e à medida que a planta envelhece repele a água).

Kochia: folhas alternadas; formato variável de lineares a estreitas e ovaladas (2 a 7 cm de comprimento e 0,5 a 8 mm de largura), planas e com 1 a 5 veias proeminentes; margens inteiras e franjadas com pelos; limbo foliar quase sem pelos; pecíolo curto.

Green Foxtail: bainha com as margens e o colarinho com alta quantidade de pelos, pode ser levemente peludo nas bainhas inferiores. Limbo foliar plano

ou dobrado (8 a 20 cm de comprimento e 3 a 10 mm de largura), sem pêlos e escabrosa.

Banyardgrass: bainha sem pelos, geralmente com pequenas glândulas nas margens perto do colarinho. Lâmina plana (10 a 40 cm de comprimento e 5 a 25 mm de largura), sem pelos, áspera ao toque, margens geralmente dentadas e veias proeminentes.

Velvetleaf: folhas alternadas, orbicular a ovalada (4 a 17 cm de comprimento e até 20 cm de largura), pontas gradativamente pontiagudas, arredondadas e até formato de coração na base; margens crenadas ou dentadas; superfícies foliares aveludadas (dificuldade de adesão de gotículas de água); pecíolos longos.

Waterhemp: folhas alternadas, formato variável desde ovadas, lanceoladas, postuladas ou oblongas (4 a 11 cm de comprimento), afinando gradualmente até a base, pontas arredondadas (às vezes entalhadas), margens inteiras, superfícies sem pelos e lisas; pecíolos de até 5 cm de comprimento.

3.2.2 Experimento de controle de plantas daninhas

Os tratamentos foram realizados em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições e replicado duas vezes de maneira independente para confirmação dos dados. As pulverizações foram realizadas em duas alturas, para todas as espécies. Foi utilizado um simulador de pulverização com barra composta por 3 bicos espaçados em 50 cm e altura da barra de 50 cm para a parte superior das plantas (Figura 10). A ponta de pulverização utilizada foi a TT11002 com taxa de aplicação de 140 L ha⁻¹, pressão de 276 kPa e velocidade de 1,77 m s⁻¹.



Figura 10 – Simulador de pulverização. **Foto:** Oliveira, J.V. (2020).

Foram realizados dois fatoriais, o primeiro consistiu em 10 x 6 , 10 caldas de pulverização (Tabela 3), seis espécies de plantas daninhas na altura de 13 a 17 cm e o segundo na altura de 25 a 30 cm, o herbicida utilizado foi o glufosinato de amônio em todos os tratamentos com a dose reduzida para 328 g ia ha⁻¹, de maneira a evitar o completo controle das plantas daninhas e obter efeito comparativo.

Após a pulverização das plantas, com 28 dias após o tratamento (DAT) as plantas foram cortadas rente ao solo, identificadas e colocadas em uma estufa para completa secagem da massa vegetal por sete dias a 65°C até que as plantas atingissem uma massa constante. A biomassa seca foi registrada e convertida em redução percentual da biomassa, a redução percentual de biomassa será referida como percentual de controle (equação 2).

$$RPB = 100 - \frac{(X \cdot 100)}{Y} \quad (2)$$

Onde RPB é a redução percentual de biomassa (%), X é a biomassa (g) de cada unidade amostral e o Y é a média da biomassa da testemunha (g).

3.2.3 Ângulo de contato

O ângulo de contato (AC) estático foi determinado usando o método da gota séssil. Com uma fonte de luz difusa, a gota séssil é iluminada de um lado e do outro lado o contorno é observado. O AC é o ângulo formado por um líquido

no limite trifásico onde o líquido, o gás e o sólido se cruzam. Uma seringa de 500 μL Hamilton® foi preparada e montada com uma agulha de 0,52 mm de diâmetro externo, utilizada como medida de referência e disposta dentro da câmara climática.

Uma imagem ao vivo da câmera pode ser vista na tela do computador usando o software SCA. O volume de dosagem de 1 μL (1241 μm) foi dispensado com uma taxa de dosagem muito rápida ($5 \mu\text{L s}^{-1}$). A câmara climática (com a amostra de superfície) foi movida cuidadosamente para cima, sem tocar na ponta da agulha, até que a gota se assentasse.



Figura 11 - Equipamento de medição de tensão superficial e ângulo de contato (OCA 15EC).

Foto: Oliveira, J.V. (2020).

Após a completa deposição da gota, a imagem foi capturada e a função instantâneo foi usada para medições para reduzir erros de vibração. As linhas de ampliação são usadas para definir a região de interesse, permitindo que o software detecte a linha de base e o contorno de queda. O método Ellipse foi usado para calcular o AC estático em superfícies foliares. O AC estático de gotas das amostras de tratamento descritas anteriormente foi medido na superfície adaxial da folha das plantas daninhas selecionadas diariamente ao acaso imediatamente antes da medição de plantas cultivadas em estufa que tinham 13 a 17 cm e 25 a 30 cm de altura. Na altura de 25 a 35 cm, foram analisados dois terços da planta (inferior e superior).

Cartões de plástico mylar também foram usados como amostra de superfície para comparação. Cada amostra de tratamento foi replicada quatro vezes em cada superfície. Entre cada tratamento, a agulha e a seringa passaram por um processo de limpeza, sendo preenchida e descartada cinco vezes com álcool e cinco com água destilada. Após o procedimento de limpeza, a seringa foi preenchida com a próxima amostra do tratamento cinco vezes para garantir que a agulha e a seringa contivessem apenas o líquido do tratamento a ser analisado.

Uma câmara climática foi utilizada para manter a temperatura e a umidade relativa do ar em $30 \pm 1^\circ\text{C}$ e $30 \pm 1\%$, respectivamente. A temperatura é ajustada por um circulador de líquido (Julabo USA Inc, Allentown, PA 18109) e a umidade do ar é fornecida por um gerador e controlador de umidade - HCG (DataPhysics Instruments GmbH, Filderstadt, Alemanha) (Figura 12), ambos os valores são exibidos no painel de controle do dispositivo HCG, permitindo a verificação em tempo real.



Figura 12 - Equipamentos para controle de temperatura e umidade.
Foto: Oliveira, J.V. (2020).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para ambas as réplicas na análise de variância, a interação entre os fatores caldas de aplicação e espécies foi significativa para o ângulo de contato e o controle das espécies aos 28 dias.

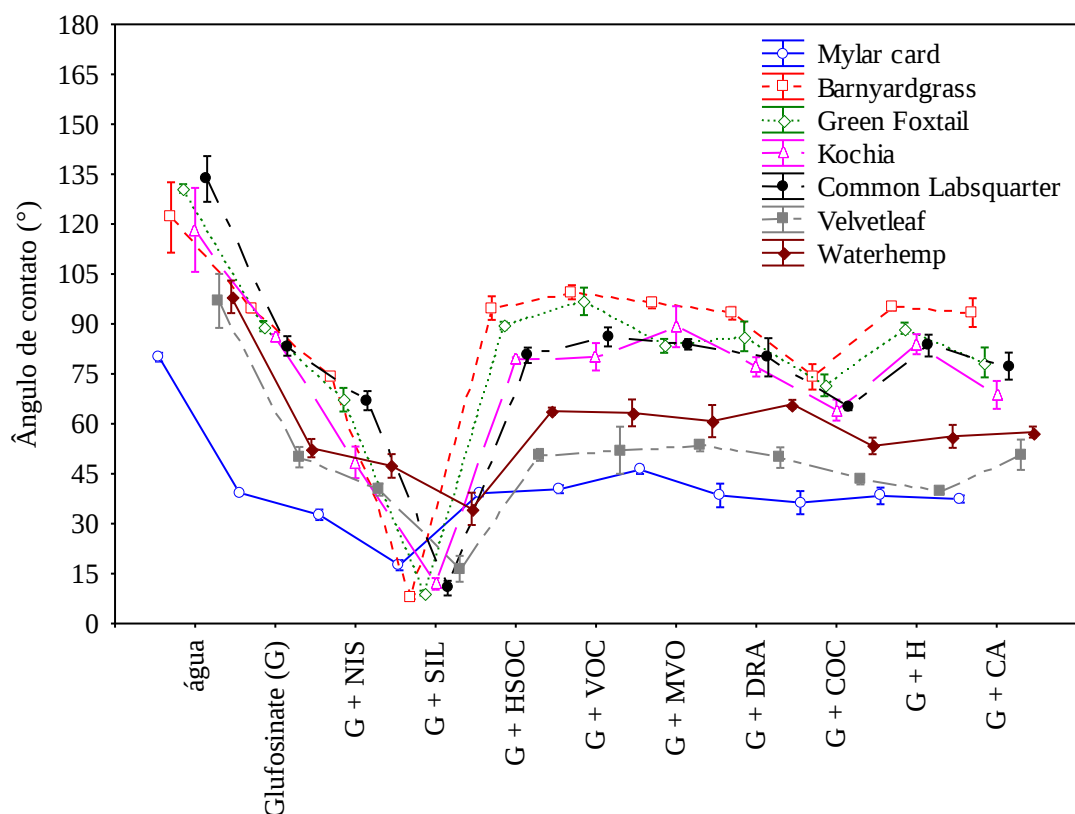


Figura 13 - Ângulo de contato (°) das gotas contendo as caldas de pulverização em diferentes superfícies foliares de plantas daninhas em estágio inicial (13 a 17 cm de altura).

No estágio inicial (13 a 17 cm) independente da superfície testada, a água resultou no maior ângulo de contato, isso indica que a água possui a menor área de contato com as superfícies, porém os valores dependem da superfície avaliada (MORAES, 2019). Mesmo que todas as superfícies foliares tenham cera epicuticular, o grau de hidrofobicidade varia para cada espécie (ZWERTVAEGHER et al., 2014), ambiente em que a planta se desenvolveu e o estágio de desenvolvimento (MUCHERI, 2016). Para efeito de comparação, foi avaliada uma superfície artificial de plástico transparente (Mylar®).

A calda de glufosinato + SIL obteve menor ângulo de contato para todas as superfícies com uma variação de 8 a 34°, que corresponde a uma diferença de 76%. A diminuição do ângulo de contato e o aumento do molhamento geralmente aumenta a absorção do herbicida pela planta, e a maior permanência das gotas no estado líquido pode permitir maior penetração nas folhas (XU et al., 2011). No entanto, Oliveira et al. (2019) observou que essas duas características

desejáveis são inversamente proporcionais, ou seja, quanto menor ângulo de contato resulta em uma taxa de evaporação mais rápida.

Os maiores ângulos de contato foram com a adição do adjuvante VOC ao glufosinato para as espécies Barnyardgrass, Green Foxtail e Common Lambsquarters, enquanto para Kochia e Velvetleaf foi o MVO e DRA para a Waterhemp. essa diferença corrobora com a afirmação de que a molhabilidade depende da calda utilizada e da superfície foliar.

Em relação as superfícies foliares com as caldas analisadas, a espécie Velvetleaf obteve os menores valores de ângulo de contato, com exceção da calda glufosinato + SIL que as gramíneas (Barnyardgrass e Green Foxtail) obtiveram os menores valores. A espécie Barnyardgrass resultou nos maiores valores de ângulo de contato, com exceção da água (Common Lambsquarters) e do glufosinato + SIL (Waterhemp). As espécies Velvetleaf e Waterhemp resultaram em uma variação de 37 e 32° de amplitude diante das caldas analisadas, enquanto a Barnyardgrass, Green Foxtail, Kochia e Common Lambsquarters a amplitude aumentou, 91, 88, 77, e 75 respectivamente, podendo afirmar que as caldas obtiveram maior influência nessas espécies.

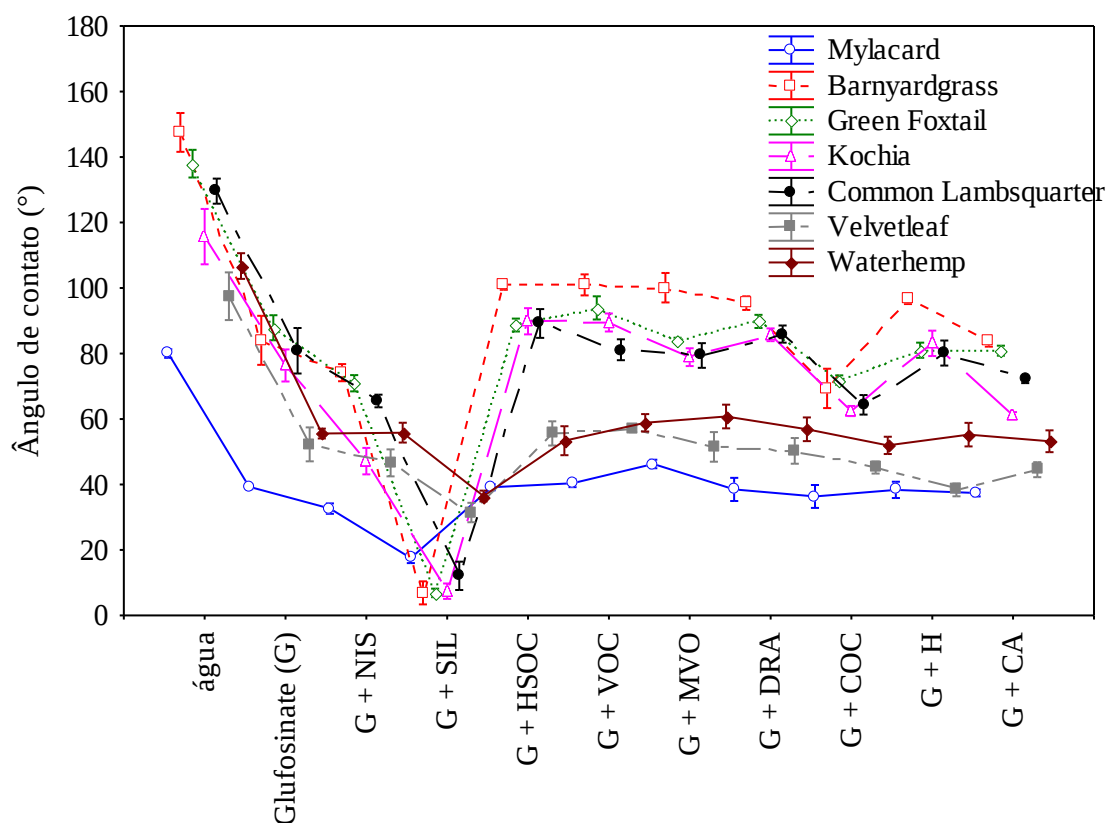


Figura 14 - Ângulo de contato ($^{\circ}$) das gotas contendo as caldas de pulverização em diferentes superfícies foliares da parte inferior de plantas daninhas no segundo estágio de desenvolvimento testado (25 a 35 cm de altura).

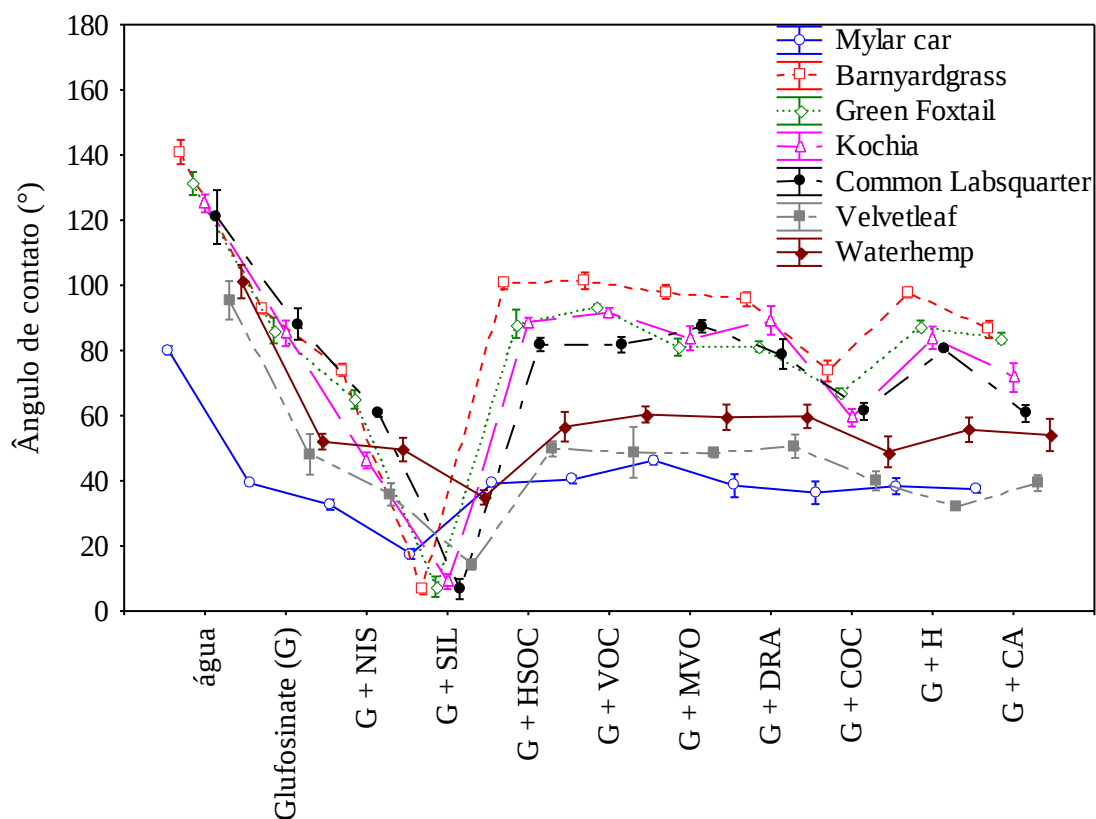


Figura 15 - Ângulo de contato ($^{\circ}$) das gotas contendo as caldas de aplicação em diferentes superfícies foliares na parte superior de plantas daninhas no segundo estágio de desenvolvimento testado (25 a 35 cm de altura).

Na altura de 25 a 35 cm, foram analisados dois terços da planta (inferior e superior). Nos dois terços analisados, independente da superfície testada, a água resultou no maior ângulo de contato.

Para as folhas do terço inferior a calda de glufosinato + SIL obteve menor ângulo de contato para todas as superfícies com uma variação de 7 a 36 $^{\circ}$, que corresponde a uma diferença de 81%. A diminuição do ângulo de contato e o aumento do molhamento geralmente aumenta a absorção do herbicida pela planta, e a maior permanência das gotas no estado líquido pode permitir maior penetração nas folhas (Xu et al., 2011). No entanto, Oliveira et al. (2019) observou que essas duas características desejáveis são inversamente proporcionais, ou seja, quanto menor ângulo de contato resulta em uma taxa de evaporação mais rápida.

Os maiores ângulos de contato foram com a adição do adjuvante VOC ao glufosinato para as espécies Barnyardgrass, Green Foxtail e Velvetleaf, enquanto a adição de HSOC obteve os maiores valores para Barnyardgrass, Kochia e Common Lambsquarters e MVO para a Waterhemp, essa diferença corrobora com a afirmação de que a molhabilidade depende da calda utilizada e da superfície foliar. Em relação as superfícies foliares com as caldas analisadas, a espécie Velvetleaf obteve os menores valores de ângulo de contato, com exceção das caldas glufosinato + SIL e glufosinato + HSOC, que para SIL a Barnyardgrass, Green Foxtail e Kochia obtiveram os menores valores, enquanto para o HSOC foi a Waterhemp. As gramíneas Barnyardgrass e Green Foxtail resultaram nos maiores valores de ângulo de contato, com exceção do glufosinato + SIL (Waterhemp). As espécies Velvetleaf e Waterhemp resultaram em uma variação de 26 e 24° de amplitude diante das caldas analisadas, enquanto a Barnyardgrass, Green Foxtail, Kochia e Common Lambsquarters a amplitude aumentou, 94, 87, 82, e 77 respectivamente, podendo afirmar que as caldas obtiveram maior influência nessas espécies.

Para as folhas do terço superior a calda de glufosinato + SIL obteve menor ângulo de contato para todas as superfícies com uma variação de 7 a 36°, que corresponde a uma diferença de 81%. Os maiores ângulos de contato foram com a adição do adjuvante VOC ao glufosinato para as espécies Barnyardgrass, Green Foxtail, Kochia e Waterhemp, enquanto a adição de DRA obteve os maiores valores para Velvetleaf e Waterhemp, HSOC também para a Barnyardgrass e MVO também para a Waterhemp, essa diferença corrobora com a afirmação de que a molhabilidade depende da calda utilizada e da superfície foliar. Em relação as superfícies foliares com as caldas analisadas, a espécie Velvetleaf obteve os menores valores de ângulo de contato, com exceção da calda glufosinato + SIL que foi a Barnyardgrass, Green Foxtail e Common Lambsquarters obtiveram os menores valores. A gramínea Barnyardgrass resultou nos maiores valores de ângulo de contato, com exceção do glufosinato + SIL (Waterhemp). As espécies Velvetleaf e Waterhemp resultaram em uma variação de 36 e 25° de amplitude diante das caldas analisadas, enquanto a Barnyardgrass, Green Foxtail, Kochia e Common Lambsquarters a amplitude aumentou, 95, 86, 83, e 81 respectivamente, podendo afirmar que as caldas obtiveram maior influência nessas espécies.

Nesse estudo foi possível observar que ao adicionar adjuvante a calda de pulverização, diminui o ângulo de contato e aumenta a área de molhamento, variando de acordo com a espécie de planta e classe do adjuvante, o mesmo foi observado por Xu (2010).

No experimento de controle, o estágio inicial das plantas daninhas (13 a 17 cm) foi observado diferença entre a primeira (Tabela 4) e segunda (Tabela 5) replicagem.

Tabela 4 - Controle aos 28 DAT de diferentes espécies de plantas daninhas no estágio inicial (13 a 17cm) em função das caldas de pulverização contendo glufosinato sem e com diferentes classes de adjuvantes na 1ª réplica.

Adjuvantes	Espécies					
	Green Foxtail	Waterhemp	Banyardgrass	Velvetleaf	Kochia	Common Lambsquarter
Glufosinate (GA)	90,76 aA	97,48 aA	62,91 bB	56,39 bB	51,83 bB	42,14 bB
GA + NIS	92,48 aA	97,18 aA	67,71 bB	54,19 bB	85,26 aA	51,20 bB
GA + SIL	72,39 bB	97,33 aA	22,51 dC	71,80 bB	7,02 cC	28,31 bC
GA + HSOC	97,14 aA	97,94 aA	48,37 cB	65,42 bB	91,90 aA	80,92 aA
GA + VOC	84,74 bA	98,01 aA	31,65 dB	44,24 bB	55,25 bB	43,40 bB
GA + MVO	96,69 aA	98,10 aA	31,53 dB	57,40 bB	56,35 bB	49,83 bB
GA + DRA	96,42 aA	97,55 aA	59,87 bB	62,29 bB	93,08 aA	94,15 aA
GA + COC	95,09 aA	97,70 aA	22,13 dC	66,07 bB	69,75 aB	51,89 bC
GA + HUM	75,49 bA	98,10 aA	64,08 bB	56,05 bB	89,01 aA	42,68 bB
GA + WC	99,03 aA	97,48 aA	96,81 aA	97,07 aA	89,50 aA	89,67 aA

Letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna não apresentam diferença significativa pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Não foi observada diferença no percentual de controle de Waterhemp pelas caldas de pulverização, todas apresentaram valores acima de 97%, na primeira réplica. Para Green Foxtail, das dez caldas analisadas, apenas três apresentaram menores percentuais de controle com 72,39, 75,49 e 84,74% para SIL, HUM e VOC, respectivamente.

Os tratamentos contendo glufosinato sozinho e glufosinato com adição de VOC, MVO e COC obtiveram valores significativos de controle, maior que 84%, somente para as espécies Green Foxtail e Waterhemp. Devido à maioria das caldas apresentarem alto percentual de controle, essas duas plantas daninhas foram consideradas de mais fácil controle no estágio inicial de desenvolvimento (13 a 17 cm).

Foi observado, em ambas as réplicas, alto percentual de controle para Waterhemp, com a adição ou não de adjuvantes ao herbicida. O controle dessa planta daninha tem sido cada vez mais dependente do glufosinato devido à resistência das plantas ao glifosato, principalmente (CHATHAM et al., 2015; SCHULTZ et al., 2015). Polli (2021) observou percentual de controle para essa espécie maior de 98%, bem como Beyers et al., (2002) relataram mais de 99% de controle aos 28 dias após a aplicação de glufosinato.

Para Barnyardgrass e Velvetleaf foi observada apenas uma calda com controle superior a 72%, glufosinato + WC, com 96,81 e 97,07% respectivamente. A adição do adjuvante WC resultou nos maiores percentuais de controle independente da planta daninha analisada.

A adição de SIL à calda de pulverização resultou nos menores percentuais de controle nas espécies analisadas, com exceção de Waterhemp. A variação do controle pela adição desse adjuvante foi de 7,02 a 97,33%, a qual corrobora com a afirmação de que a eficácia da calda pulverizada é dependente da planta daninha alvo. Partindo dessa premissa, há relatos na literatura de que os surfatantes podem influenciar o controle de plantas daninhas com base nas espécies alvo. Sanyal et al., (2006) relataram que a adição de um surfatante não iônico ao herbicida primisulfuron resultou em maior espalhamento do que o herbicida sozinho, no entanto, foi observado maior espalhamento em Velvetleaf comparada à Common Lambsquarters. Assim, as estruturas foliares podem explicar o baixo percentual de controle para Kochia (aproximadamente 7%) se comparado a outras plantas daninhas no tratamento GA + SIL.

Tabela 5 - Controle aos 28 DAT de diferentes espécies de plantas daninhas no estágio inicial (13 a 17cm) em função das caldas de pulverização contendo glufosinato sem e com diferentes classes de adjuvantes na 2ª réplica.

Adjuvantes	Espécies					
	Green Foxtail	Waterhemp	Banyardgrass	Velvetleaf	Kochia	Common Lambsquarter
Glufosinate (GA)	96,49 aA	97,48 aA	80,52 aB	1,71 dC	65,78 bB	67,56 aB
GA + NIS	93,63 aA	97,18 aA	69,07 aB	3,62 dC	41,14 dB	52,16 bB
GA + SIL	91,35 aA	97,33 aA	48,06 bB	9,12 dC	7,07 eC	12,21 dC
GA + HSOC	97,22 aA	97,94 aA	60,76 b B	16,06 dC	59,60 cB	35,90 cC
GA + VOC	83,13 aA	98,01 aA	64,31 bB	7,76 dD	58,90 cB	26,46 dC
GA + MVO	87,41 aA	98,10 aA	51,58 bB	24,58 cC	40,72 dB	28,80 dC
GA + DRA	98,41 aA	97,55 aA	70,87 aB	16,65 dC	30,12 dC	50,56 bC
GA + COC	94,69 aA	97,70 aA	60,02 bB	38,48 cC	4,05 eC	41,53 cC
GA + HUM	93,07 aA	98,10 aA	62,91 bB	54,64 bB	40,40 dC	44,14 cC
GA + WC	98,58 aA	97,48 aA	88,68 aA	98,09 aA	91,26 aA	75,50 aB

Letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna não apresentam diferença significativa pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Na segunda réplica (Tabela 5), para Green Foxtail e Waterhemp não foi observada diferença no controle entre as caldas de pulverização testadas, com valores acima de 83 e 97%, respectivamente. Para Kochia e Velvetleaf apenas uma calda apresentou controle superior a 65%, glufosinato + WC, com 91,26 e 98,09% respectivamente. Para Common Lambsquarters, nenhuma das caldas analisadas apresentou controle superior a 76%.

Todas as caldas testadas obtiveram maiores percentuais de controle (maior que 83%) para Green Foxtail e Waterhemp. Essas duas plantas, em ambas as réplicas, apresentaram maiores percentuais de controle nesse estágio de desenvolvimento (13 a 17 cm). A variação do controle pela pulverização do herbicida glufosinato isolado foi de 1,71 a 97,48%, a qual corrobora com a afirmação de que a eficácia da calda pulverizada é dependente da planta daninha alvo.

Comparando as duas réplicas, Common Lambsquarters, Kochia e Barnyardgrass foram as plantas que mais apresentaram diferenças nos percentuais de controle entre as caldas analisadas.

A adição do adjuvante WC resultou nos maiores percentuais de controle (maior que 88%), exceto para Common Lambsquarters com 75,50%.

Common Lambsquarters são plantas relatadas com alto teor de cera por unidade de área foliar (SANYAL et al., 2006). A membrana cuticular possui, em sua composição, uma camada de ceras epicuticulares que constituem a parte mais externa da cutícula e, sua composição química, quantidade e polaridade podem ser fatores limitantes à absorção de produtos químicos (LIAKOPOULOS et al., 2001). É relatado que, o teor de cera e a área de espalhamento da gota do herbicida estão inversamente relacionados (Chachalis et al., 2001), o que, possivelmente, explica o baixo percentual de controle dessa planta para ambas as caldas de pulverização. Entretanto, na primeira réplica, três tratamentos apresentaram percentual de controle maior que 80% para essa espécie, um deles foi o que continha HSOC. Há informações que adjuvantes da classe dos surfatantes, principalmente combinados a óleos, são conhecidos por oferecer equilíbrio das propriedades lipofílicas e hidrofílicas servindo como solvente para herbicidas na superfície da folha aumentando sua solubilidade e induzindo a infiltração estomática direta da solução de pulverização (HESS; FOY, 2000). Desse modo, resultados podem ser contrastantes, Anderson (2021) relata

percentual de controle Common Lambsquarters maior que 95% com aplicação de glufosinato combinado a um adjuvante surfatante, entretanto, Steckel et al., (1997a) demonstraram que a absorção de glufosinato por esta planta daninha foi baixa até mesmo em mistura com adjuvante desta classe.

Em ambas as réplicas, a calda de pulverização de glufosinato combinado ao adjuvante WC apresentou os maiores percentuais de controle para todas as plantas daninhas testadas. É recomendado o uso de condicionadores a base de sulfato de amônio em mistura ao glufosinato devido, principalmente, a neutralização de cátions. O sulfato de amônio ou condicionador de água (WC) é o único adjuvante nos EUA recomendado para aumentar a atividade do glufosinato (Anônimo, 2019). No entanto, a interação de glufosinato e WC na eficácia de controle de plantas daninhas é específica por espécie (Zollinger et al. 2010). A mistura de WC e surfatante é frequentemente uma combinação benéfica que aumenta a eficácia dos herbicidas, especialmente para herbicidas de ácido fraco, como o glufosinato (Wosnika, 2003). Embora as formulações comerciais de glufosinato comumente contenham surfatantes em sua composição (Baur et al. 2017), a quantidade pode ser insuficiente para otimizar a eficácia do herbicida. Além disso, sob condições de baixa umidade, os surfactantes sozinhos podem não manter as gotículas do herbicida úmidas por tempo suficiente para uma absorção efetiva (Ramsey et al. 2005).

Os agentes condicionadores de calda reduzem os problemas relacionados à água dura isolando a carga elétrica e suprimindo a reatividade de moléculas e íons que podem reduzir a eficiência dos produtos químicos (HOCK, 2004). Informações apontam que a estrutura molecular do glufosinato é semelhante à do glifosato, o que leva à especulação que as características da calda podem influenciar a eficácia do glufosinato. Jones et al., (2001) demonstraram que a eficácia do glufosinato foi aumentada com a adição de sulfato de amônio em algumas espécies de plantas daninhas. A exemplo disso, o uso deste adjuvante, na concentração de 5%, resultou em aumento significativo na absorção do herbicida por Green Foxtail (DEVKOTA; JOHNSON, 2016). Maschhoff et al., (2000) relataram que o adjuvante a base de sulfato de amônio aumentou a translocação total do herbicida absorvido em Velvetleaf de 1 para 4% e em Green Foxtail de 5 para 7%, entretanto, não foi observado nenhum efeito na translocação do herbicida para Common Lambsquarters. Pratt

et al., (2003) testando oito soluções de glufosinato contendo adjuvantes concluíram que os tratamentos com os níveis mais altos de sulfato de amônio tiveram o maior desempenho no controle de Velvetleaf.

Tabela 6 - Média da 1ª e 2ª réplica do controle aos 28 DAT de diferentes espécies de plantas daninhas no 2º estágio (25 a 35 cm) em função das caldas de pulverização contendo glufosinato sem e com diferentes classes de adjuvantes.

Adjuvantes	Espécies					
	Green Foxtail	Waterhemp	Banyardgrass	Velvetleaf	Kochia	Common Lambsquarter
Glufosinate (GA)	95,00 aA	54,00 bB	47,50 aB	25,50 bC	35,00 aC	26,00 aC
GA + NIS	94,25 aA	50,75 bB	53,50 bB	25,60 bC	29,25 bC	27,25 bC
GA + SIL	91,75 aA	35,75 cB	30,75 cB	26,75 Bb	17,25 bC	18,00 dC
GA + HSOC	96,75 aA	38,50 cB	46,50 bB	23,25 bC	29,00 bC	23,00 cC
GA + VOC	89,75 aA	27,50 cC	42,75 bB	26,00 bC	18,50 bC	22,00 dC
GA + MVO	91,75 aA	40,50 cB	40,75 bB	27,00 bC	17,25 bC	22,50 dC
GA + DRA	96,75 aA	45,75 cB	30,50 cB	38,00 aB	43,75 aB	39,50 bB
GA + COC	95,25 aA	41,00 cB	41,25 bB	38,25 aB	23,75 bC	28,75 cC
GA + HUM	94,75 aA	55,75 bB	47,75 bB	46,00 aB	47,00 aB	29,25 cC
GA + WC	96,75 aA	76,25 aB	85,50 aB	91,00 aA	49,50 aC	49,75 aC

Letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna não apresentam diferença significativa pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Para o controle de plantas daninhas no segundo estágio de desenvolvimento (25 a 35 cm), não foi observada diferença entre a primeira e segunda réplicas, dessa forma, realizou-se a média dos resultados (Tabela 6).

Para Green Foxtail não houve diferença no percentual de controle pelas caldas de pulverização, com valores acima de 91%. Em Common Lambsquarters e Kochia nenhuma calda apresentou controle maior que 50%.

Dentre as caldas de pulverização testadas, apenas glufosinato + WC resultou em mais de uma espécie com percentual de controle maior que 90, observado para Velvetleaf (91%) e Green Foxtail (96,75%).

Foi observado, em ambas as réplicas, alto percentual de controle para Green Foxtail independente da calda de pulverização aplicada e estágio de desenvolvimento da planta. Steckel et al., (1997a) relataram altas taxas de controle para Giant Foxtail (*Setaria faberi*) independentemente do tamanho da planta, entretanto, para Common Lambsquarters, mesmo com a maior dose de glufosinato, não foi observado controle considerado consistente e aceitável. Estudos relatam ainda, que o controle de Common Lambsquarters por glifosato é menos eficaz quando a planta atinge 6 cm ou mais (BOERBOOM et al., 2006; SCHUSTER et al., 2007; SIVESIND et al., 2011). Steckel et al., (1997a) concluíram também que Giant Foxtail e Velvetleaf absorveram mais facilmente o glufosinato. Com 24 dias após a aplicação, foi observado percentual de absorção de 67 e 42% do herbicida por Giant Foxtail e Velvetleaf, respectivamente, enquanto Common Lambsquarters absorveu apenas 16% do herbicida aplicado durante o mesmo intervalo de tempo. Ademais, pesquisas mostram que a inclusão de adjuvantes a base de sulfato de amônio pode aumentar a absorção de glifosato e glufosinato em Giant Foxtail e Velvetleaf, mas não em Common Lambsquarters (MASCHHOFF et al., 2000; YOUNG et al., 2003).

Analisando o controle das plantas daninhas no estágio inicial de desenvolvimento (13 a 17 cm), foram observados menores valores isolados variando de 1 a 8%, nos tratamentos GA, GA + SIL e GA + COC, em Kochia e Velvetleaf enquanto no controle das plantas no segundo estágio (25 a 35 cm) os menores valores ficaram próximos a 17% com glufosinato combinado a SIL e MVO em Kochia. Apesar desses extremos negativos, foi observado maior

percentual geral de controle das plantas daninhas no primeiro estágio de desenvolvimento.

Quando comparado o controle no estágio inicial e o segundo estágio, no estágio com menor altura de plantas pelo menos uma das caldas obteve controle com pelo menos 75% em todas as espécies analisadas, enquanto no segundo estágio o maior percentual de controle da *Kochia* e da *Common Lambsquarters* foi aproximadamente 49%.

A eficácia dos herbicidas aplicados em pós-emergência é influenciada por diversos fatores, dentre eles, fisiológicos, ambientais e vegetais (MERSEY et al., 1990; COETZER et al., 2001). O processo de controle em plantas daninhas ocorre em quatro etapas que incluem a interceptação do herbicida pelas plantas, absorção, translocação e inibição do processo metabólico no local de ação. Desse modo, fatores que influenciam essas etapas têm poder limitante na eficácia do glufosinato de amônio (STECKEL et al., 1997b). Assim, diferentes respostas a este herbicida têm sido atribuídas a diversas causas como umidade, temperatura, espécie alvo, períodos de aplicação, variações na absorção e translocação e o estágio de desenvolvimento das plantas (EVERMAN, 2008).

O estágio de desenvolvimento das plantas bem como os métodos de aplicação são cruciais para o controle eficiente de plantas daninhas. Plantas jovens em crescimento ativo geralmente apresentam cutículas mais finas e permeáveis se comparadas a plantas mais velhas, com cutícula mais densa, desse modo, herbicidas solúveis em água, como o glufosinato, podem ser mais eficazes na penetração da cutícula de plantas mais tenras. Ademais, plantas daninhas menores possuem menor área de superfície foliar, possibilitando melhor cobertura de aplicação (STECKEL et al., 1997b). Neste contexto, Mucheri (2016) relata que o estágio de desenvolvimento influenciou significativamente o controle do Ryegrass com glufosinato de amônio, sendo menor em plantas de desenvolvimento mais avançado, o que foi atribuído, pelo autor, à redução da absorção e translocação do herbicida.

Tabela 7 - Correlação entre as propriedades físico-químicas, análises de espectro de gotas, controle e ângulo de contato de caldas de pulverização do herbicida glufosinato sem e com diferentes classes de adjuvantes em espécies de plantas daninhas em diferentes estádios de desenvolvimento.

	pH	C.E	Dens.	Visc. Din.	Visc. Cin.	Tensão Sup.	Dv10	Dv50	Dv90	RS	V100	V150	Controle 1.1	Cont. 1.2	Cont. 2	AC 1	AC 2 Inf	AC 2 Sup.
pH	1,00	-0,51	-0,47	0,19	0,21	-0,08	0,22	-0,03	-0,15	-0,28	-0,27	-0,23	-0,09	-0,20	-0,26	-0,08	-0,03	-0,03
C.E	-0,51	1,00	0,99	-0,11	-0,15	-0,03	-0,22	-0,05	0,10	0,28	0,30	0,25	0,31	0,31	0,36	0,06	-0,01	0,01
Dens.	-0,47	0,99	1,00	-0,11	-0,15	-0,06	-0,26	-0,06	0,13	0,36	0,36	0,31	0,30	0,31	0,36	0,04	-0,02	-0,00
Visc. Din.	0,19	-0,11	-0,11	1,00	1,00	-0,15	0,82	0,88	0,69	-0,32	-0,62	-0,69	-0,03	-0,08	-0,04	-0,05	-0,01	-0,03
Visc. Cin..	0,21	-0,15	-0,15	1,00	1,00	-0,14	0,83	0,88	0,68	-0,33	-0,63	-0,70	-0,04	-0,10	-0,05	-0,05	-0,01	-0,03
Tensão Sup.	-0,08	-0,03	-0,06	-0,15	-0,14	1,00	0,30	0,11	-0,08	-0,37	-0,38	-0,38	0,28	0,14	0,07	0,72	0,72	0,70
Dv10	0,22	-0,22	-0,26	0,82	0,83	0,30	1,00	0,82	0,42	-0,72	-0,94	-0,98	0,09	-0,04	-0,01	0,28	0,32	0,29
Dv50	-0,03	-0,05	-0,06	0,88	0,88	0,11	0,82	1,00	0,86	-0,21	-0,59	-0,69	0,04	0,01	0,09	0,11	0,13	0,11
Dv90	-0,15	0,10	0,13	0,69	0,68	-0,08	0,42	0,86	1,00	0,32	-0,11	-0,23	-0,02	0,05	0,13	-0,07	-0,06	-0,07
RS	-0,28	0,28	0,36	-0,32	-0,33	-0,37	-0,72	-0,21	0,32	1,00	0,89	0,84	-0,12	0,08	0,09	-0,36	-0,39	-0,36
V100	-0,27	0,30	0,36	-0,62	-0,63	-0,38	-0,94	-0,59	-0,11	0,89	1,00	0,99	-0,09	0,08	0,08	-0,32	-0,37	-0,33
V150	-0,23	0,25	0,31	-0,69	-0,70	-0,38	-0,98	-0,69	-0,23	0,84	0,99	1,00	-0,10	0,05	0,04	-0,34	-0,38	-0,35
Controle 1.1	-0,09	0,31	0,30	-0,03	-0,04	0,28	0,09	0,04	-0,02	-0,12	-0,09	-0,10	1,00	0,61	0,60	0,30	0,26	0,26
Controle 1.2	-0,20	0,31	0,31	-0,08	-0,10	0,14	-0,04	0,01	0,05	0,08	0,08	0,05	0,61	1,00	0,60	0,36	0,33	0,35
Controle 2	-0,26	0,36	0,36	-0,04	-0,05	0,07	-0,01	0,09	0,13	0,09	0,08	0,04	0,60	0,60	1,00	0,36	0,31	0,31
AC 1	-0,08	0,06	0,04	-0,05	-0,05	0,72	0,28	0,11	-0,07	-0,36	-0,32	-0,34	0,30	0,36	0,36	1,00	0,97	0,98
AC 2 Inf.	-0,03	-0,01	-0,02	-0,01	-0,01	0,72	0,32	0,13	-0,06	-0,39	-0,37	-0,38	0,26	0,33	0,31	0,97	1,00	0,98
AC 2 Sup.	-0,03	0,01	-0,00	-0,03	-0,03	0,70	0,29	0,11	-0,07	-0,36	-0,33	-0,35	0,26	0,35	0,31	0,98	0,98	1,00

Correlações $\geq 0,26$ são significativas a 5% de probabilidade.

As variáveis quando comparadas (Tabela 7), podem apresentar correlações significativas positivas ($\geq 0,26$), ou seja, variáveis diretamente proporcionais e significativas negativas ($\leq -0,26$), inversamente proporcionais, quanto mais próximo de 1 mais forte essa correlação.

Como observado neste estudo, houve correlação positiva significativa entre os ângulos de contato e percentual de controle das plantas daninhas. Ainda, foi constatado um leve aumento na correlação quando comparado os controles com a análise de ângulo de contato do estádio inferior (AC 1).

Mundialmente, pesquisas têm sido destinadas a aumentar a eficácia dos herbicidas. Um fator chave para essa maior eficiência é a melhoria da absorção foliar destes produtos. O processo de absorção envolve vários parâmetros que englobam a aplicação, retenção, propagação, penetração e, finalmente, a translocação de moléculas nos tecidos vegetais. Portanto, nenhum desses fatores deve ser considerado de maneira isolada para a eficácia da aplicação (PALMA et al., 2020).

Espécies de plantas daninhas possuem diferentes características morfológicas e de superfície foliar como composição da cutícula, presença de ceras e rugosidade, quantidade de estômatos, tricomas, bem como posição, ângulo e idade da folha que podem atuar como barreiras à deposição do herbicida (KOCH et al., 2008; KRAEMER et al., 2009; ZWERTVAEGHER et al., 2014; LI et al., 2019). Durante o processo de pulverização, as gotas formadas, ao serem depositadas nas plantas, formam ângulo de contato com a superfície. A mensuração desse ângulo pode caracterizar a gota quanto à capacidade de molhamento. Informações sugerem que, com ângulo menor que 90° considera-se que a superfície é hidrofílica, porém, se o ângulo for maior que 90° , a superfície é considerada hidrofóbica. Como mencionado, a molhabilidade das folhas depende dos constituintes de sua epiderme, visto que a atração pela água necessita ser maior que a tensão superficial do líquido (KISSMANN, 1997).

Da mesma forma que foi observado nesse estudo, Moraes et al., (2019) observaram correlação entre a tensão superficial e ângulo de contato formado na superfície das folhas. Para Moraes et al., (2019) o consequente aumento no percentual de controle de plantas daninhas com a adição de adjuvantes ao herbicida testado, entretanto, os autores concluem que tais fatores isolados não podem ser considerados suficientes para explicar o incremento no controle das

plantas pelo herbicida. De acordo com Singh, Singh (2006), além da tensão superficial e ângulo de contato, outros fatores têm maior influência na eficácia do herbicida. Hess, Falk (1990) observaram que mesmo utilizando o mesmo ingrediente ativo, a distribuição do herbicida foi influenciada pelo tipo de formulação do produto e estrutura da superfície da folha. Desse modo, é provável que ocorra maior molhabilidade a partir de menores valores de tensão superficial e ângulo de contato, no entanto, apenas tais mudanças isoladas não são suficientes para influenciar em melhor absorção e eficácia do herbicida (Moraes et al., 2019).

Outro fator a ser considerado é a retenção das gotas de pulverização depositadas nas superfícies foliares, que está diretamente relacionada à área de molhamento e tempo de evaporação das gotas, dessa forma, caso não ocorra molhamento uniforme do ingrediente ativo sobre o alvo, o controle das plantas daninhas pode ser reduzido (XU et al., 2010; DAMATO et al., 2016). Para que o percentual depositado no alvo seja eficaz, o herbicida deve estar presente em concentração adequada, durante período suficiente para que ocorra absorção pelo tecido vegetal e assim, entrar em contato com o sítio de ação (LI et al., 2019). Neste contexto, os principais parâmetros que afetam o impacto e a retenção das gotas são as propriedades químicas e físicas dos líquidos pulverizados e, especialmente, as características do alvo (JOURNAUX et al., 2011). Tais interações proporcionam o entendimento de diversos processos, um deles é a resistência das plantas daninhas aos herbicidas, podendo ser ocasionada devido à má qualidade da pulverização consequente não absorção do ingrediente ativo necessário para o controle (BUSI et al., 2015).

O uso de adjuvantes às caldas de pulverização com herbicidas é relatado como potencial redutor do ângulo de contato mesmo em superfícies super-hidrofóbicas, aumentando os índices de molhabilidade foliar (ZHENG et al., 2018). Adjuvantes surfatantes são relatados com tal capacidade de reduzir a tensão superficial e o ângulo de contato entre a gota de pulverização e a superfície da planta, o que, consequentemente, aumenta a molhabilidade e a penetração do herbicida na folha (CURRAN; LINGENFELTER, 2009). No entanto, a natureza e concentração do surfatante, a formulação do herbicida e a umidade relativa também podem afetar a tensão superficial e o ângulo de contato (TORRECILA et al., 2008; KRAEMER et al., 2009; CASTRO et al., 2018; QAZI,

2020). Em contrapartida, reduções acentuadas no ângulo de contato das gotas podem aumentar o risco de evaporação das mesmas. De acordo com Pricer (1983) surfatantes podem aumentar 10 vezes a superfície disponível para evaporação.

Dessa forma, é essencial a busca pelo equilíbrio entre ângulo de contato e taxa de evaporação da gota, pois como exposto, o isolamento de uma variável não é suficiente para descrever a eficácia de um herbicida em sua totalidade, visto que todos estes fatores se inter-relacionam.

No percentual de controle dessas plantas daninhas analisadas, houve correlação positiva com o ângulo de contato, condutividade elétrica e densidade. Não apresentou nenhuma correlação negativa com as propriedades físicas e químicas analisadas, com as análises de espectro de gotas e interação calda com superfície foliar.

Entre as propriedades físicas e químicas vale ressaltar que a relação entre a condutividade elétrica e a densidade apresentou uma correlação positiva e forte de 0,99.

A viscosidade dinâmica apresentou correlação positiva com as análises de espectro de gotas de Dv10, 50 e 90, isso pode-se afirmar que quando aumenta a viscosidade aumenta também essas características da gota. A análises de amplitude (RS), e percentual de gotas finas (V100 e V150) obtiveram uma correlação negativa, ou seja, a viscosidade é inversamente proporcional com essas análises, aumenta a viscosidade diminui a amplitude e os percentuais de gotas finas, o oposto também é verdadeiro.

3.4 CONCLUSÃO

O controle e o ângulo de contato variam de acordo com a espécie de planta daninha, estágio de desenvolvimento e a classe do adjuvante.

A redução do ângulo de contato pela adição do adjuvante a base de organosilicone não proporcionou aumento no controle das plantas daninhas.

Adicionar o sulfato de amônio, condicionador de água, é fundamental no uso e na eficácia do glufosinato de amônio.

3.5 REFERÊNCIAS

ANDERSON, D.M., SWANTON, C.J., HALL, J.C., MERSEY, B.G. The influence of temperature and relative humidity on the efficacy of glufosinate-ammonium. **Weed Research**, v. 33, p. 139-147, 1993.

ANDERSON, E. **The effect of anionic surfactants on herbicide mixtures and solutions**. Master's thesis. Lincoln, NE: University of Nebraska, 2021.

Anônimo, **Liberty herbicide product label** EPA Reg. No. 7969-448 (pp. 10-12) Research Triangle Park, NC: Bayer Crop Protection, 10-12, 2019.

BAUR, P., BAUER, M., SCHWEINITZER, G., & WOLF, S. (2017). U.S. Patent No. US 20170265477A. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

BEYERS, J. T., SMEDA, R. J., JOHNSON, W. G. Weed management programs in glufosinate-resistant soybean (*Glycine max*). **Weed Technology**, v.16, p. 267–273, 2002.

BOERBOOM, C. M., STOLTENBERG, D. E., JESCHKE, M. R., TROWER, T. L., GASKA, J. M. **Factors affecting glyphosate control of common lambsquarters**. IN: Proceedings of the 61st Annual Meeting of the Southern Weed Science Society. Milwaukee, Annals 2006. p. 54. 2006.

BUSI, R., GOGGIN, D.E., HEAP, I.M., HORAK, M.J., JUGULAM, M., MASTERS, R.A. Weed resistance to synthetic auxin herbicides. **Pest Management Sci**, v. 74, p. 2265–2276, 2018.

CASTRO, E., CARBONARI, C., VELINI, E., GOMES, G., BELAPART, D. Influence of adjuvants on the surface tension, deposition and effectiveness of herbicides on fleabane plants. **Planta Daninha**, v. 36, p. 1-9, 2018.

CHACHALIS, D., REDDY, K. N., ELMORE, C. D., STEELE, M. L. Herbicide efficacy, leaf structure, and spray droplet contact angle among *Ipomoea* species and smallflower morningglory. **Weed Science**, v. 49, n. 5, p. 628-634, 2001.

CHATHAM, L. A., WU, C., RIGGINS, C. W., HAGER, A. G., YOUNG, B. G., ROSKAMP, G. K., TRANEL, P. J. EPSPS gene amplification is present in the majority of glyphosate-resistant Illinois waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*) populations. **Weed Technology**, v. 29, p.48–55, 2015.

CHAHAL, G.S., & JOHNSON, W.G. Influence of glyphosate or glufosinate combinations with growth regulator herbicides and other agrochemicals in controlling glyphosate-resistant weeds. **Weed Technology**, v. 26, n. 4, p. 638-643, 2012.

COETZER, E., AL-KHATIB, K., LOUGHIN, T. M. Glufosinate efficacy, absorption, and translocation in *Amaranth* as affected by relative humidity and temperature. **Weed Science**, v. 49, n. 1, p. 8-13, 2001.

CURRAN, W., LINGENFELTER, D. **Adjuvants for enhancing herbicide performance**. In Agronomy Facts 37. University Park, PA: Pennsylvania State University, 2009.

CRAIGMYLE, B.D., ELLIS, J.M., BRADLEY, K.W. Influence of weed height and glufosinate plus 2,4-d combinations on weed control in soybean with resistance to 2,4-d. **Weed Technology**, v. 27, n. 2, p. 271-280, 2013.

DAMATO, T. C., CARRASCO, L. D. M., RIBEIRO, A. M. C., LUIZ, R. V., GODOY, R., PETRI, D. F. S. The interactions between surfactants and the epicuticular wax on soybean or weed leaves: Maximal crop protection with minimal wax solubilization. **Crop Protection**, v. 91, p. 57-65, 2016.

DEVKOTA, P., JOHNSON, W. G. Glufosinate efficacy as influenced by carrier water pH, hardness, foliar fertilizer, and ammonium sulfate. **Weed Technology**, v. 30, n. 4, p. 848-859, 2016.

ETHERIDGE, R.E., HART, W.E., HAYES, R.M., MUELLER, T.C. Effect of Venturi-type nozzles and application volume on postemergence herbicide efficacy. **Weed Technology**, v. 15, p. 75–80, 2001.

EVERMAN, W. J. **Influence of environmental and physiological factors on glufosinate and glyphosate weed management.** Master's thesis. North Carolina: Faculty of North Carolina State University, 2008.

EVERMAN, W. J., MAYHEW, C. R., BURTON, J. D., YORK, A.C., WILCUT, J. W. Absorption, Translocation, and Metabolism of ¹⁴C-glufosinate in glufosinate-resistant corn, goosegrass (*Eleusine indica*), large crabgrass (*Digitaria sanguinalis*), and Sicklepod (*Senna obtusifolia*). **Weed Science**, v. 57, n. 1, p. 1-5, 2009.

HAO, J., LU, J., LEE, L., WU, Z., HU, G., FLORYAN, J. M. Droplet splashing on an inclined surface. **Physical review letters**, 122(5), 2019.

HESS, F. D., FOY, C. L. Interaction of surfactants with plant cuticles. **Weed Technology**, v. 14, p. 807–813, 2000.

HESS, F. D., FALK, R. H. Herbicide deposition on leaf surfaces. **Weed Science**, v. 38, n. 3, p. 280-288, 1990.

HOCK, W. K. **Horticultural spray adjuvantes.** Pennsylvania State Univesity, 2004. p. 1-4. (Agrichemical fact Sheet 11).

JONES, C., CHANDLER, J., MORRISON, J., SENSEMAN, S., TINGLE, C. Glufosinate combinations and row spacing for weed control in glufosinat e resistant corn (*Zea mays*). **Weed Technology**, v. 15, n. 1, p. 141-147, 2001.

JOURNAUX, L., SIMON, J. C., DESTAIN, M. F. Plant leaf roughness analysis by texture classification with generalized Fourier descriptors in a dimensionality reduction context. **Precision Agriculture**, v. 12, p. 345–360, 2011.

KAUR, S., SANDELL, L.D., LINDQUIST, J.L., & JHALA, A.J. Glyphosate-resistant giant ragweed (*Ambrosia trifida*) control in glufosinate-resistant soybean. **Weed Technology**, v. 28, n. 4, p. 569-577, 2014.

KISSMANN, K. G. **Adjuvantes para caldas de produtos fitossanitários.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, Viçosa: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, p. 61-77, 1997.

KOCH, K., BHUSHAN, B., BARTHLOTT, W. Diversity of structure, morphology and wetting of plant surfaces. **Soft Matter**, v. 4, n. 10, p. 19-43, 2008.

KRAEMER, T., HUNSCHE, M., NOGA, G. Surfactant-induced deposit structures in relation to the biological efficacy of glyphosate on easy and difficult-to-wet weed species. **Pest Management Science**, v. 65, n. 8, p. 844-850, 2009.

LI, H., TRAVLOS, I., QI, L., KANATAS, P., WANG, P. Optimization of herbicide use: Study on spreading and evaporation characteristics of glyphosate-organic silicone mixture droplets on weed leaves. **Agronomy**, v. 9, n. 9, p. 547, 2019.

LIAKOPOULOS, G., STAVRIANOKOU, S., KARABOURNIOTIS, G. **Analysis of epicuticular phenolics of *Prunus persica* and *Olea europea* leaves, evidence for the chemical origin of the u.v. induced blue fluorescence of stomata.** *Annals of botany*, v. 87, p. 641-648, 2001.

MASCHHOFF, J. R., HART, S. E., BALDWIN, J. L. (2000). Effect of ammonium sulfate on the efficacy, absorption, and translocation of glufosinate. **Weed Science**, v. 48, n. 1, p. 2-6, 2000.

MERSEY, B. G., HALL, J. C., ANDERSON, D. M., SWANTON, C. J. Factors affecting the herbicidal activity of glufosinate-ammonium: Absorption, translocation, and metabolism in barley and green foxtail. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 37, p. 90–98, 1990.

MEYER, C. J., NORSWORTHY, J. K., KRUGER, G. R., & BARBER, T. L. Effect of nozzle selection and spray volume on droplet size and efficacy of Engenia tank-mix combinations. **Weed Technology**, v. 30, p. 377-390, 2016.

MEYER, C. J. **Mitigating the Risk for Glufosinate Resistance.** Theses and Dissertations Retrieved, 2018.

MORAES, J. G., LUCK, J. D., ANTUNIASSI, U. R., HOFFMANN, W. C., KRUGER, G. R. Effect of adjuvants on physical properties of glyphosate and PPO-Inhibiting Herbicide Spray Mixtures. **Pesticide Formulation and Delivery Systems**, v. 39, p. 64-74, 2019.

MUCHERI, T. **The efficacy of glufosinate ammonium on ryegrass as influenced by different plant growth stages and different temperatures.** Master's thesis, University of Stellenbosch, South Africa, 2016.

OLIVEIRA, J.V., TAVARES, A.A.C., ANUNCIATO, V.M., POLLI, E.G., GUIMARÃES, L.H., OLIVEIRA, R.B., KRUGER, G.R. Influence of temperature on droplet size and physicochemical properties of glufosinate tank-mixtures with different adjuvants. **75th annual meeting of the North Central Weed Science Society**, 2020.

OLIVEIRA, R. B., PRECIPITO, L. M. B., GANDOLFO, M. A., OLIVEIRA, J. V., LUCIO, F.R. Effect of droplet size and leaf surface on retention of 2,4-D formulations. **Crop Protection**, v. 119, p. 97-101, 2019.

PALMA, B. C., VAZQUEZ, G. J. G., TRAVLOS, I., TATARIDAS, A., KANATAS, P., DOMÍNGUEZ, V. J. A., PRADO, R. Effect of adjuvant on glyphosate effectiveness, retention, absorption and translocation in *Lolium rigidum* and *Conyza canadensis*. **Plants**, v. 9, n. 3, p. 297, 2020.

PETERSEN, J., & HURLE, K. Influence of climatic conditions and plant physiology on glufosinate-ammonium efficacy. **Weed Research**, v. 41, n. 1, p. 31-39, 2001.

POLLI, E. G. **The influence of adjuvants on physical properties, droplet-size, and efficacy of glufosinate and dicamba plus glyphosate solutions.** Master's thesis. Lincoln, NE: University of Nebraska, 2021.

PRATT, D., KELLS, J. J., PENNER, D. Substitutes for ammonium sulfate as additives with glyphosate and glufosinate. **Weed Technology**, v. 17, n. 3, p. 576-581, 2003.

PRICER, C. E. The effect of environment on foliage uptake and translocation of herbicides. A.o.A. Biologists (Ed.), **Aspects of Applied Biology 4: Influence of Environmental Factors on Herbicide Performance and Crop and Weed Biology**, v. 4, p. 157-169, 1983.

QAZI, M. J., SCHLEGEL, S. J., BACKUS, E. H., BONN, M., BONN, D., SHAHIDZADEH, N. Dynamic surface tension of surfactants in the presence of high salt concentrations. **Langmuir**, v. 36, n. 27, p. 7956-7964, 2020.

RAETANO, C.G., CHECHETTO, R.G. **Misturas em tanque**. In: ANTUNIASI, U.R., BOLLER, W. Tecnologia de Aplicação para Culturas Anuais. 2 ed. Passo fundo: Aldeia Norte, p. 49-86, 2019.

RAMSEY, R., STEPHENSON, G., & HALL, J. A review of the effects of humidity, humectants, and surfactant composition on the absorption and efficacy of highly water-soluble herbicides. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 82, n. 2, p. 162-175, 2005.

SASAKI, R.S., TEIXEIRA, M.M., SANTIAGO, H., MADUREIRA, R.P., MACIEL, C.F.S., FERNANDES, H.C. Adjuvantes nas propriedades físicas da calda, espectro e eficiência de eletrificação das gotas utilizando a pulverização eletrostática. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.2, p.274-279, 2015.

SANYAL, D., BHOWMIK, P. C., REDDY, K. N. Leaf characteristics and surfactants affect primisulfuron droplet spread in three broadleaf weeds. **Weed Science**, v. 54, n. 1, p. 16-22, 2006.

SCHULTZ, J. L., CHATHAM, L. A., RIGGINS, C. W., TRANEL, P. J., BRADLEY, K. W. Distribution of herbicide resistances and molecular mechanisms conferring resistance in Missouri waterhemp (*Amaranthus rudis* Sauer) populations. **Weed Science**, v. 63, p. 336–345, 2015.

SCHUSTER, C. L., SHOUP, D. E., AL-KHATIB, K. Response of common lambsquarters (*Chenopodium album*) to glyphosate as affected by growth stage. **Weed Science**, v. 55, p. 147–151, 2007.

SINGH, S., SINGH, M. Suitable adjuvants to maximize trifloxysulfuron efficacy and early assessment of herbicide efficacy using chlorophyll fluorescence. **Journal of ASTM International**, v. 3, p. 1-12, 2006.

SIVESIND, E. C., GASKA, J. M., JESCHKE, M. R., BOERBOOM, C. M., STOLTENBERG, D. E. Common lambsquarters response to glyphosate across environments. **Weed Technology**, v. 25, p. 44–50, 2011.

SPANOGHE, P., SCHAMPHELEIRE, M., VAN DER MEEREN, P., STEURBAUT, W. Influence of agricultural adjuvants on droplet spectra. **Pesticide Management Science**, v. 64, p. 4-16, 2007.

STECKEL, G. J., HART, S. E., WAX, L. M. Absorption and translocation of glufosinate on four weed species. **Weed Science**, v. 45, n. 3, p. 378-381, 1997a.

STECKEL, G. J., WAX, L. M., SIMMONS, F. W., PHILLIPS, W. H. Glufosinate efficacy on annual weeds is Influenced by rate and growth stage. **Weed Technology**, vol. 11, n. 3, p. 484-488, 1997b.

STAGNARI, F. A Review of the factors influencing the absorption and efficacy of lipophilic and highly water-soluble post-emergence herbicides. **The European Journal of Plant Science and Biotechnology**, v. 1, p. 22–35, 2007.

STOCK, D., BRIGGS, G. Physiochemical properties of adjuvants: values and applications. **Weed Technology**. Champaign, v.14, p. 798-806, 2000.

STUBBENDIECK, J. L., COFFIN, M. J., LANDHOLT, L. M. **Weeds of the great plains**. Nebraska Department of Agriculture, Bureau of Plant Industry, 2003.

TAKANO, H. K., & DAYAN, F. E. Glufosinate-ammonium: A review of the current state of knowledge. **Pest Management Science**, v. 76, n. 12, p. 3911-3925, 2020.

TRAVLOS, I., CHEIMONA, N., BILALIS, D. Glyphosate efficacy of different salt formulations and adjuvant additives on various weeds. **Agronomy**, v. 7, p. 60-68, 2017.

TORRECILLA, J. S., RAFIONE, T., GARCÍA, J., RODRÍGUEZ, F. Effect of relative humidity of air on density, Apparent Molar Volume, viscosity, surface tension, and water content of 1-ethyl-3-methylimidazolium ethylsulfate ionic liquid. **Journal of Chemical & Engineering Data**, v. 53, n. 4, p. 923-928. 2008.

WOZNICA, W. J. U.S. **Patent No. WO2003092373A2**. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 2003.

XU, L., ZHU, H., OZKAN, H., BAGLEY, W., DERKSEN, R. C., KRAUSE, C. R. Adjuvant effects on evaporation time and wetted area of droplets on waxy leaves. **Transactions of the ASABE**, v. 53, n. 1, p. 13-20, 2010.

XU, L., ZHU, H., OZKAN, H.E., BAGLEY, W.E., KRAUSE, C.R. Droplet evaporation and spread on waxy and hairy leaves associated with type and concentration of adjuvants. **Pest. Manag. Sci.**, v. 67, p. 842-851, 2011.

YOUNG, B. G., KNEPP, A. W., WAX, L. M., HART, S. E. Glyphosate translocation in common lambsquarters (*Chenopodium album*) and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) in response to ammonium sulfate. **Weed Science**, v. 51, p. 151–156, 2003.

ZOLLINGER, R. K., NALEWAJA, J. D., PETERSON, D. E., & YOUNG, B. G. Effect of hard water and ammonium sulfate on weak acid herbicide activity. **30th Symposium on Pesticide Formulations and Delivery Systems: Regulations and Innovation**, 2010.

ZHENG, L., CAO, C., CAO, L., CHEN, Z., HUANG, Q., SONG, B. Bounce behavior and regulation of pesticide solution droplets on rice leaf surfaces. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, p. 11560–11568, 2018.

ZWERTVAEGHER, I. K., VERHAEGHE, M., BRUSSELMAN, E., VERBOVEN, P., LEBEAU, F., MASSINON, M., NICOLAI, B. M., NUYTTENS, D. The impact and retention of spray droplets on a horizontal hydrophobic surface, **Biosystems Engineering**, v. 126, p. 82–91, 2014.