

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP**

**CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITO DE ADJUVANTES ASSOCIADOS A HERBICIDAS NO CONTROLE DE  
APAGA FOGO E CAPIM CARRAPICHO**

**Jaymes Alves Pereira**

**Engenheiro Agrônomo**

**2024**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP**  
**CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITO DE ADJUVANTES ASSOCIADOS A HERBICIDAS NO CONTROLE DE  
APAGA FOGO E CAPIM CARRAPICHO**

**Discente: Jaymes Alves Pereira**

**Orientador: Prof. Dr. Marcelo da Costa Ferreira**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

P436e

Pereira, Jaymes Alves

Efeito de adjuvantes associados a herbicidas no controle de apaga fogo e capim carrapicho / Jaymes Alves Pereira. -- Jaboticabal, 2024  
52 p. : tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),  
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Marcelo da Costa Ferreira

1. Controle de plantas daninhas. 2. Herbicidas. 3. Adjuvantes. I.  
Título.


**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: EFEITO DE ADJUVANTES ASSOCIADOS A HERBICIDAS NO CONTROLE DE APAGA FOGO E CAPIM CARRAPICHO**

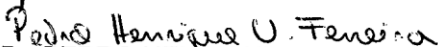
**AUTOR: JAYMES ALVES PEREIRA**

**ORIENTADOR: MARCELO DA COSTA FERREIRA**

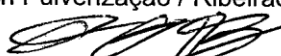
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. MARCELO DA COSTA FERREIRA (Participação Presencial)  
Departamento de Fitossanidade / FCAV UNESP Jaboticabal



Pesquisador Dr. PEDRO HENRIQUE URACH FERREIRA (Participação Presencial)  
Spraytech Pulverização / Ribeirão Preto/SP



Pós-doutorando ALLAN LOPES BACHA (Participação Presencial)  
Departamento de Biologia / FCAV UNESP Jaboticabal

Jaboticabal, 22 de outubro de 2024

## **IMPACTO ESPERADO NA SOCIEDADE**

Os resultados dos herbicidas glifosato + imazetapir associados às formulações dos adjuvantes à base de óleos vegetais apresentou maior eficiência . O objetivo é alcançar uma performance eficiente sobre o alvo, utilizando as tecnologias adequadas para a correta aplicação do produto. O uso de adjuvantes em conjunto com produtos fitossanitários promove um melhor aproveitamento da calda, sendo uma ferramenta que proporciona maior eficiência dos produtos e melhora as características da aplicação: Melhor distribuição e a aderência do produto no alvo, aumentando a eficácia do tratamento. A aplicação correta e econômica minimiza o uso excessivo de produtos, resultando em menor desperdício e custos reduzidos. A tecnologia adequada e o uso de adjuvantes reduzem a exposição dos aplicadores a produtos químicos, diminuindo riscos à saúde.

## **EXPECTED IMPACT ON SOCIETY**

The results of the herbicides glyphosate + imazethapyr associated with formulations of adjuvants based on vegetable oils showed greater efficiency. The goal is to achieve efficient performance on the target, using appropriate technologies for the correct application of the product. The use of adjuvants in conjunction with phytosanitary products promotes better utilization of the spray solution, being a tool that provides greater efficiency of the products and improves the characteristics of the application. Better distribution and adherence of the product to the target, increasing the effectiveness of the treatment. Correct and economical application minimizes excessive use of products, resulting in less waste and reduced costs. Appropriate technology and the use of adjuvants reduce the exposure of applicators to chemicals, decreasing health risks.

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**JAYMES ALVES PEREIRA** – Nasceu em 25 de novembro de 1986 em São José do Rio Preto, São Paulo (SP), Brasil. Filho de Rosângela Cesar Marques Ravagnani e Celso Alves Pereira. No ano de 2006, ingressou no Curso de Engenharia Agrônoma no Centro Universitário Moura Lacerda (CUML), Câmpus de Ribeirão Preto – SP. Durante a graduação, foi estagiário na empresa Binova Agroindustrial Ltda., no Departamento Técnico. Em 2010, obteve o título de Engenheiro Agrônomo e, a partir daí, desenvolveu seu histórico profissional na mesma empresa, hoje pertencente ao grupo Agrocere, tornando-se coordenador dos serviços técnicos SIP– Serviço Integrado de Pulverização, enfatizando a tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. Em agosto de 2022, iniciou o curso de Mestrado Acadêmico no Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal), da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Câmpus de Jaboticabal, sob orientação do Prof. Dr. Marcelo da Costa Ferreira, sendo membro do Núcleo de Estudos e Desenvolvimento em Tecnologia de Aplicação (NEDTA), localizado no Departamento de Fitossanidade desta instituição.

*“A única maneira de fazer um ótimo trabalho é amar o que você faz.”*

**Steve Jobs**

À minha família, à minha esposa Elizangela e minha filha Maria Alice, minha mãe Rosangela, minha avó Maria, meu tio Nilton, meu diretor Thiago Delgado, meu gerente Fabio Fachin, e toda a equipe comercial da empresa Agrocere Binova, por sempre terem me apoiado e incentivado em meus sonhos. Por nunca duvidarem da minha capacidade e coragem, sou grato por tudo: pela paciência, pela confiança e pela compreensão que me proporcionaram, pois foi uma jornada difícil. Vocês são o reflexo de onde cheguei e é por vocês que estou aqui hoje escrevendo esta dedicatória!

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por me conceder forças para que eu percorresse firme durante todo esse caminho, que não foi fácil, e que me conduziu a concluí-lo, tornando meus sonhos em realidade.

À minha amada família, principalmente à minha esposa e filha, por acreditarem em mim, por não me deixarem desanimar e por me incentivarem a ficar focado sempre; à minha mãe Rosângela e minha avó Maria, que acreditaram e vibraram por esse dia; ao meu tio Nilton, que sempre acreditou no meu potencial e me apoiou.

À empresa Agrocerec Binova, empresa do grupo Agrocerec, que foi a principal responsável por me guiar nessa jornada acadêmica, em especial ao meu diretor Thiago Delgado, que sempre confiou no meu trabalho e dedicação, me guiando, orientando e incentivando sempre; ao meu gerente Fabio, que sempre acreditou que eu poderia atingir meus objetivos e não desistir; e claro, a toda a equipe pela paciência e apoio, tanto aos que estão presentes hoje quanto aos que não estão mais no quadro de funcionários, todos foram peças importantes.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcelo da Costa Ferreira, pela orientação e confiança em mim como profissional, desde o primeiro dia muito receptivo e incentivador, sendo o principal responsável pela conclusão deste trabalho, pelas correções, conversas e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional e pessoal, por sempre me ouvir e me auxiliar, pois a base do conhecimento envolve não somente o bem-estar profissional, mas pessoal também. Só ele sabe como foi importante a sua orientação ao longo do curso e por ter me concedido a oportunidade de fazer parte da equipe do Núcleo de Estudos e Desenvolvimento em Tecnologia de Aplicação (NEDTA).

Ao grupo de pesquisa NEDTA, do qual tenho orgulho de fazer parte, com certeza todos foram importantes para meu crescimento acadêmico.

A todos os meus colegas de pós-graduação, e principalmente Gabriela Pelegrini e Maria T. L. Siqueira, por sempre estarem dispostas a me ajudar tanto em momentos alegres quanto nos momentos difíceis, além de toda palavra compartilhada que foi de aprendizado.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP/FCAV), Campus de Jaboticabal, por ter me proporcionado tanto conhecimento e evolução profissional e pessoal, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), coordenado pelo Dr. Leonardo Bianco de Carvalho, pelo ótimo trabalho realizado juntamente com os demais professores do programa.

**Meus sinceros agradecimentos**

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	ii
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>1.INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2.MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	4
<b>2.1.Caracterização dos tratamentos</b> .....	4
<b>2.2.Caracterização das caldas fitossanitárias</b> .....	6
<b>2.2.1.Estabilidade físico-química das caldas</b> .....	6
<b>2.2.2.Tensão superficial e ângulo de contato</b> .....	7
<b>2.2.3.Tamanho de gotas</b> .....	8
<b>2.2.4.Viscosidade</b> .....	10
<b>2.3.Avaliação de depósito das caldas fitossanitárias</b> .....	10
<b>2.4.Avaliações de controle</b> .....	11
<b>2.5.Análise estatística</b> .....	12
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	13
<b>3.1.Estabilidade físico-química das caldas</b> .....	14
<b>3.2. Potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica</b> .....	15
<b>3.3. Viscosidade</b> .....	18
<b>3.4.Tensão superficial e ângulo de contato</b> .....	18
<b>3.5. Ângulo de contato em superfície artificial</b> .....	22
<b>3.6.Tamanho de gotas</b> .....	25
<b>3.7.Avaliação de depósito das caldas fitossanitárias</b> .....	10
<b>3.8.Avaliações de controle</b> .....	11
<b>4 CONCLUSÃO</b> .....	332
<b>5 REFERÊNCIAS</b> .....	33

## EFEITO DE ADJUVANTES ASSOCIADOS A HERBICIDAS NO CONTROLE DE APAGA FOGO E CAPIM CARRAPICHO

**RESUMO** – A aplicação da mistura dos herbicidas glifosato e imazetapir é uma prática comum para o manejo de espécies de plantas daninhas de difícil controle. Nesse contexto, o uso de adjuvantes podem aumentar a eficácia dos produtos aplicados melhorando a interação entre produto e alvo. Este estudo tem como objetivo avaliar se o controle de apaga-fogo (*Alternanthera tenella*) e capim carrapicho (*Cenchrus echinatus L.*) pelo uso de herbicidas glifosato + imazetapir associados a adjuvantes formulados com óleos vegetais de soja, laranja, além de óleo mineral. Foi realizado um experimento em casa de vegetação com 5 tratamentos e 6 repetições. As características das caldas (tensão superficial, pH, condutividade elétrica e viscosidade) e os efeitos no ângulo de contato e no tamanho das gotas foram avaliados em laboratório. Também foram avaliadas a porcentagem de depósito da calda, o controle de apaga-fogo e capim carrapicho aos 0,3,7 e 14 dias, e a massa seca das plantas daninhas. Os resultados mostraram que o uso dos herbicidas glifosato + imazetapir associados a adjuvantes à base de óleos vegetais foi mais promissor. O óleo de soja destacou-se pela estabilidade, redução da formação de espuma e qualidade do espectro de gotas, enquanto o óleo de laranja foi eficaz na redução da tensão superficial e no ângulo de contato. Além disso, os herbicidas glifosato + imazetapir associados ao óleo vegetal de soja proporcionaram melhor controle e maior redução da matéria seca de *A.tenella* e *C.echinatus L.* Portanto, conclui-se que a adição de adjuvantes à base de óleo de soja à mistura de glifosato + imazetapir resultou em melhor controle de daninhas em relação aos outros tratamentos avaliados.

**Palavras-chaves:** Glifosato, imazetapir, óleo vegetal, óleo mineral, apaga fogo, capim carrapicho

## EFFECT OF ADJUVANTS ASSOCIATED WITH HERBICIDES IN THE CONTROL OF JOYWEED AND SOUTHERN SANDBUR

**ABSTRACT** – The application of the mixture of glyphosate and imazethapyr herbicides is a common practice for managing hard-to-control weed species. In this context, the use of adjuvants can increase the efficacy of the applied products by improving the interaction between the product and the target. This study aims to evaluate the control of *Alternanthera tenella* and *Cenchrus echinatus* L. using glyphosate + imazethapyr herbicides associated with adjuvants formulated with soybean, orange, and mineral oils. An experiment was conducted in a greenhouse with 5 treatments and 6 repetitions. The characteristics of the spray solutions (surface tension, pH, electrical conductivity, and viscosity) and the effects on contact angle and droplet size were evaluated in the laboratory. The percentage of spray deposit, control of *A. tenella* and *C. echinatus* at 0, 3, 7, and 14 days, and the dry mass of the weeds were also evaluated. The results showed that the use of glyphosate + imazethapyr herbicides associated with vegetable oil-based adjuvants was more promising. Soybean oil stood out for its stability, reduction of foam formation, and quality of the droplet spectrum, while orange oil was effective in reducing surface tension and contact angle. Additionally, glyphosate + imazethapyr herbicides associated with soybean vegetable oil provided better control and greater reduction of dry matter of *A. tenella* and *C. echinatus* L. Therefore, it is concluded that the addition of soybean oil-based adjuvants to the glyphosate + imazethapyr mixture resulted in better weed control compared to the other treatments evaluated.

**Keywords:** glyphosate, imazetapyr, vegetable oil, mineral oil, joyweed, southern sandbur

## 1. INTRODUÇÃO

A competição de plantas cultivadas com as plantas daninhas por recursos naturais, se destaca como um dos fatores que mais compromete a produtividade (Forte et al., 2017), Tais prejuízos na produtividade podem chegar a 92% (Nepomuceno et al.; 2007). Além disso, as plantas daninhas são hospedeiras de pragas e doenças e podem liberar substâncias alelopáticas, que interferem negativamente no desenvolvimento das culturas (Agostinetto et al., 2008; Lamego et al., 2013), ampliando perdas em até 80%, quando não se utiliza nenhum método de controle (Galon et al., 2021).

Desse modo, as plantas daninhas competem diretamente com as plantas cultivadas por nutrientes, água e luz, fatores essenciais para o crescimento e desenvolvimento vegetal. Essa competição pode resultar em plantas mais susceptíveis e menos produtivas, comprometendo tanto a qualidade quanto a produtividade. Além disso, a presença de plantas daninhas pode aumentar os custos de produção, exigindo estratégias de controle químico como o uso de herbicidas. (Martins et al., 2022).

O uso constante e repetido de produtos fitossanitários, como aplicações de herbicidas do mesmo mecanismo de ação, por exemplo, pode favorecer a seleção de plantas daninhas resistentes aos herbicidas. A ocorrência de plantas daninhas resistentes torna o controle químico menos eficaz e exige o uso de doses maiores ou a combinação de diferentes produtos, com potenciais riscos ambientais e aumento de custos produtivos. (Embrapa, 2022)

O controle com produtos fitossanitários é uma prática comum para o manejo de plantas daninhas, considerado eficiente e econômico pelos agricultores e técnicos (Luvezuti et al., 2014; Sanches, 2022). A tecnologia de aplicação é fundamental para garantir que o produto biologicamente ativo atinja corretamente ao alvo, em quantidade necessária, de forma econômica e com o mínimo de contaminação de áreas não-alvo (Matuo, 1990).

Essas misturas de produtos fitossanitários para controle das plantas daninhas quando adicionados às caldas dos tanques de pulverizadores, podem

sofrer interações que se manifestam de forma sinérgica, ou seja, a ação da mistura é superior à soma das ações de cada ingrediente em separado, Podem, ainda, se manifestarem de forma aditiva, ou seja, de modo que a ação da mistura é a soma das ações de cada um dos ingredientes envolvidos, ou de forma antagônica, de modo que a ação da mistura é inferior à soma das ações de cada ingrediente. (Fluttert et al., 2022). Esses efeitos das misturas são avaliados conforme o método proposto por Colby (1967).

O controle de plantas daninhas com herbicidas tem o glifosato como um dos mais utilizados no mundo (Blackshaw e Harker, 2002). O glifosato é um herbicida não seletivo de ação sistêmica, aplicado em pós-emergência, que demonstra eficiência tanto em culturas perenes quanto anuais, além de ser eficaz no controle de plantas monocotiledôneas e dicotiledôneas (Salazar-López & Madrid, 2011). O glifosato é absorvido pelas folhas e translocado pelo xilema e floema, o que permite o controle de plantas daninhas perenes com propagação vegetativa e seu modo de ação é inibindo a enzima 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs), essencial para a síntese de aminoácidos aromáticos como triptofano, fenilalanina e tirosina. Sem esses aminoácidos, as plantas não conseguem produzir proteínas necessárias para seu crescimento e desenvolvimento, levando à morte da planta (Yamada, 2007).

O imazetapir é um herbicida de pré e pós-emergente, sistêmico e seletivo, pertencente ao grupo químico das imidazolinonas. Sua principal característica é controlar as plantas daninhas de folhas estreitas e largas e absorvido pelas folhas e raízes, translocado pelo floema e xilema, além de ser eficaz contra diversas espécies de plantas daninhas, incluindo monocotiledôneas e dicotiledôneas. Seu modo de ação é atuar inibindo a enzima acetolactato sintase (ALS), também conhecida como ácido acetohidróxido sintase (AHAS). Essa enzima é crucial para a síntese de aminoácidos de cadeia ramificada, como valina, leucina e isoleucina. A inibição dessa enzima impede a produção desses aminoácidos essenciais, resultando na interrupção da síntese de proteínas e DNA, divisão celular e movimento dos fotoassimilados. Como consequência, a planta daninha para de crescer, apresenta clorose, necrose e eventualmente morre (Silva, 2021).

Com a popularização de cultivos de plantas geneticamente modificadas para resistir ao glifosato (Webster; Sosnoskie, 2010; Owen, 2016), o uso contínuo desse herbicida contribuiu para a seleção de biótipos de plantas daninhas resistentes ao produto (Koger e Reddy, 2005). Foram confirmados 19 relatos de resistências de plantas daninhas ao herbicida glifosato, dentre elas o capim carrapicho e o apaga-fogo (Heap, 2022).

Desse modo, a ocorrência de biótipos de plantas daninhas resistentes ao glifosato vem aumentando (Lucio et al., 2019), como consequência, visando prevenir novos casos de resistência e mitigar os casos já existente, estratégias como a diversificação dos mecanismos de ação de herbicidas e o uso de diferentes métodos de aplicação de produtos fitossanitários têm sido implementados como premissas básicas no manejo de plantas daninhas.

Diversas espécies apresentam características genéticas de resistência ao glifosato, incluindo o apaga-fogo (Heap, 2019).

Além das estratégias de mitigação e prevenção à resistência de plantas daninhas, o uso de adjuvantes agrícolas tem também um papel crucial no desempenho dos produtos fitossanitários durante o processo de aplicação (Polli et al., 2021). Eles podem atuar de diversas maneiras, como na redução de perdas por deriva (Grzanka et al., 2022), na diminuição da tensão superficial e do ângulo de contato das gotas, além de contribuir para a eficiência dos produtos fitossanitários (Godinho Jr et al., 2020).

Os adjuvantes podem colaborar na eficácia dos herbicidas, por atuar no espalhamento das gotas com potencial de aumentarem a cobertura de pulverização sobre o alvo bem como aumentarem a absorção do ingrediente ativo pela planta (Vargas e Roman, 2006). No geral, a redução na tensão superficial das gotas promove fragmentação do líquido em gotas menores e pode potencializar o espalhamento das gotas sobre as superfícies, resultando em melhor distribuição e penetração do ingrediente ativo pelas folhas. Além disso, os adjuvantes ajudam a estabilizar a calda de pulverização, reduzindo a formação de espuma e melhorando a uniformidade da aplicação (Teixeira, 2009). Dessa forma, o uso de adjuvantes não só pode potencializar o efeito dos

herbicidas, mas também pode contribuir para uma aplicação mais econômica e ambientalmente segura. Outras funções dos adjuvantes são o de acidificar, tamponar e emulsificar caldas, reduzir ou evitar a formação de espuma aderir e dispersar gotas, reduzir a deriva, a evaporação e a volatilização e espalhar gotas sobre a superfície, entre outras (Boller et al., 2007; Costa et al., 2014). Atualmente existe uma grande variedade de adjuvantes disponíveis no mercado, cada um com especificidades que precisam ser avaliadas quanto à sua funcionalidade. Tal avaliação é essencial para garantir uma indicação mais objetiva e eficaz do adjuvante adequado para cada situação. Entretanto, ainda há carência de estudos sistemáticos que verifique detalhadamente o grau de atuação dos adjuvantes nos aspectos da aplicação.

Desse modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da associação dos herbicidas glifosato + imazetapir com adjuvantes formulados à base de óleos vegetais de soja, laranja e de óleo mineral, na estabilidade de caldas, na formação de espuma, no tamanho e espalhamento de gotas, no depósito de calda e na eficácia de controle de plantas daninhas apaga-fogo (*Alternanthera tenella*) e capim carrapicho (*Cenchrus echinatus* L.).

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Caracterização dos tratamentos**

O experimento foi conduzido em laboratório e casa de vegetação em duplicata, em 2023 e 2024. Avaliou-se a estabilidade físico-química da calda, tamanho de gotas, tensão superficial e ângulo de contato, viscosidade, depósito de calda, além do controle e matéria seca de apaga-fogo (*Alternanthera tenella*) e capim carrapicho (*Cenchrus echinatus* L.) em função da associação de herbicidas com adjuvantes.

Foram utilizadas sementes de *A. tenella* e *C. echinatus* L., para quebra de dormência as sementes foram deixadas submersas em água por 24 horas. As parcelas experimentais foram implantadas em vasos de polietileno com 1,5 L de

substrato. A semeadura foi realizada em bandejas e, após 15 dias de emergência, foi realizado o transplante, com quatro plantas de cada espécie por vaso.

O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, contendo quatro caldas fitossanitárias e uma testemunha, com seis repetições cada. as combinações dos tratamentos foram as seguintes: 1. glifosato + imazetapir (G+I); 2. G+I + óleo vegetal de laranja (Fixer AP, De Sangosse Agroquímica Ltda); 3. G+I+ óleo vegetal de soja (Dual Kill, Agroceres Binova); 4. G+I + óleo mineral (Assist EC, Basf S.A); 5. Testemunha. (Tabela 1)

As pulverizações das caldas dos tratamentos para controle em plântulas de de apaga-fogo e capim carrapicho foram realizadas quando as plantas estavam com quatro folhas verdadeiras, ou seja, em pós-emergência inicial da planta daninha. Para isso, foi utilizado um pulverizador montado em um quadriciclo Honda® 4x4 Fourtrax Fuel Injection, pressurizado com CO<sub>2</sub> e equipado com uma barra contendo quatro pontas de pulverização com espaçamento de 50 cm. O volume de aplicação foi de 100 L ha<sup>-1</sup>, utilizando a ponta de pulverização modelo ST-025 com 135° de abertura de angula e deflexão de 30° da Magnojet a 45 lbf pol<sup>-2</sup>, classificada, segundo o fabricante, por produzir gotas Grossas a Muito Grossas, com uma velocidade de 12 km h<sup>-1</sup>. As avaliações durante a condução dos experimentos na casa de vegetação foi o depósito da calda fitossanitária, realizadas logo após a aplicação dos tratamentos (Figura 2).

As caldas foram preparadas com o herbicida seletivo imazetapir (Imazetapir Nortox, Nortox SA, Sorriso, MT, Brasil), de ação sistêmica, na dosagem comercial de 0,5 L ha<sup>-1</sup> pc, e com o herbicida glifosato (Zapp 720 WG, Syngenta), de ação sistêmica e não seletiva, na dosagem comercial de 2,0 kg ha<sup>-1</sup> pc. Os adjuvantes foram dosados conforme as recomendações dos respectivos fabricantes: óleo vegetal de laranja a 0,2% v/v (200 mL para 100 L de calda), óleo vegetal de soja a 0,2% v/v (200 mL para 100 L de calda) e óleo mineral a 0,5% v/v (500 mL para 100 L de calda).

**Tabela 1.** Tratamentos com ingrediente ativo e produto comercial em suas respectivas dosagens utilizadas para controle de apaga-fogo (*Alternanthera tenella*) e capim carrapicho (*Cenchrus echinatus* L).

Herbicida	Adjuvantes
1. Água <sup>1</sup> (testemunha)	-
2. G <sup>2</sup> (2,0 Kg ha <sup>-1</sup> ) + I <sup>3</sup> (0,5 L.ha <sup>-1</sup> )	-
3. G (2,0 Kg ha <sup>-1</sup> ) + I (0,5 L.ha <sup>-1</sup> )	Óleo vegetal de laranja <sup>4</sup> (0,2 L ha <sup>-1</sup> )
4. G (2,0 Kg ha <sup>-1</sup> ) + I (0,5 L.ha <sup>-1</sup> )	Óleo vegetal de soja <sup>5</sup> (0,2 L ha <sup>-1</sup> )
5. G (2,0 Kg ha <sup>-1</sup> ) + I (0,5 L.ha <sup>-1</sup> )	Óleo mineral <sup>6</sup> (0,5 L ha <sup>-1</sup> )

NOTAS: <sup>1</sup>Água., <sup>2</sup>Zaap QI 720 WG® (Syngenta.), <sup>3</sup>Imazetapir® (Nortox), <sup>4</sup>Fixer AP (De Sangosse Agroquímica Ltda.), <sup>5</sup>DualKill (Agrocere Binova), <sup>6</sup>Assist EC® (Syngenta.) e

G + I: glifosato + Imazetapir

**Tabela 2.** Condições meteorológicas no momento das aplicações. Jaboticabal – SP, 2023.

Tratamentos	Temperatura °C	Umidade %	Vento km/h
	Aplicação do primeiro experimento		
1. G + I	24,7	76	1,9
2. G + I + Óleo vegetal de laranja	24,9	75	0
3. G + I + Óleo vegetal de soja	25,3	74	0
4. G + I + Óleo mineral	25,3	72	0
Aplicação do segundo experimento			
1. G + I	27,3	45	2,9
2. G + I + Óleo vegetal de laranja	27,7	47	0
3. G + I + Óleo vegetal de soja	27,5	44	0
4. G + I + Óleo mineral	27,2	48	0

G + I: Glifosato + imazetapir

## 2.2. Caracterização das caldas fitossanitárias

Para a caracterização das caldas fitossanitárias, foram analisados parâmetros físico-químicos descritos a seguir.

### 2.2.1. Estabilidade físico-química das caldas

A caracterização das caldas fitossanitárias foi realizada com base na metodologia da NBR 13875 (Agrotóxico – Avaliação de compatibilidade físico-química) (ABNT, 2014). Para a preparação das caldas na avaliação de estabilidade físico-química, foram utilizadas provetas graduadas de 250 mL com tampa, com quatro repetições. As caldas foram preparadas com água, com dureza total de  $20 \text{ mg.kg}^{-1}$  em equivalente de  $\text{CaCO}_3$ , conforme a NBR 13074 (ABNT, 1997). Em seguida, os produtos foram adicionados na concentração máxima (Tabela 1), conforme recomendado na bula de cada produto para um volume de 250 mL, sendo os adjuvantes adicionados primeiro e, posteriormente, o glifosato em seguida o imazetapir.

Após o preparo, as provetas foram agitadas 10 vezes. Em seguida, foram realizadas avaliações de condutividade elétrica (utilizando um condutímetro de bancada Marte® MP-11P) e de potencial hidrogeniônico (pH) (utilizando um peagâmetro de bancada Quimis® Q400RS) por meio da inserção de eletrodos nas provetas com caldas preparadas. A caracterização da calda incluiu a identificação da formação de espuma, creme, cristais, sedimentação, separação de fases e grumos. As avaliações de estabilidade físico-química da calda foram realizadas nos intervalos de 0, 2, 6 e 24 horas após o preparo da calda (HAP), sendo classificadas como compatíveis ou não sob agitação, conforme o método da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 13875 (2014).

### **2.2.2. Tensão superficial e ângulo de contato**

Para as avaliações de tensão superficial e ângulo de contato, foi utilizado um tensiômetro automático, modelo OCA-15 Plus (Dataphysics® Germany). A determinação da tensão neste equipamento ocorre pelo método da gota pendente na extremidade de uma agulha acoplada à seringa de emissão do líquido em análise, utilizando a análise de forma de gota assimétrica (ADSA - Axisymmetric Drop Shape Analysis). Este método envolve a digitalização e análise do perfil da gota, com base na equação de Young-Laplace, sendo os

dados de tensão registrados a cada segundo durante um minuto (Ferreira et al., 2013).

Para a avaliação do ângulo de contato, as gotas foram depositadas sobre uma superfície artificial padrão (Parafilm®) (Ramos et al., 2019). Lâminas com dimensões de 1 x 10 cm foram fixadas em um suporte e, a partir do momento do depósito da gota, o ângulo de contato foi registrado a cada segundo durante 1 minuto. Para a caracterização das caldas, foi padronizado como valor útil de tensão e ângulo o registro aos 10 segundos, uma vez que, a partir desse tempo, os valores se comportam de maneira estável, sem variações significativas.

### **2.2.3. Tamanho de gotas**

O diâmetro das gotas produzidas pelas caldas fitossanitárias foi determinado com um analisador de tamanho de partículas por difração a laser (Helos - Paqxos 5.2.1, Sympatec). Nesse equipamento, um feixe de laser é emitido por uma fonte colimadora e recebido na região oposta à emissão. As duas regiões contêm lentes de emissão e recepção, entre as quais as partículas a serem analisadas são expostas. A incidência da luz nas partículas provoca um desvio em sua trajetória, cujo ângulo é utilizado para calcular o diâmetro equivalente da partícula (Calore et al., 2015) (Figura 2). No caso das gotas medidas no ar, o formato assumido é semelhante ao de uma esfera. Quanto menor a partícula, maior é o grau de difração que o raio de luz sofre (Etheridge et al., 1999).



**Figura 2.** Helos - Paqxos 5.2.1, Sympatec.

A ponta de pulverização ST-025 com 135° de abertura de angula e deflexão de 30° da Magnojet foi instalada a 40 cm do feixe de laser (FAO, 1997). A pulverização foi acionada com a pressão de 45 lbf pol<sup>-2</sup>, mantida constante por um regulador de pressão de precisão. Um oscilador longitudinal foi utilizado para que o jato de calda atravessasse transversalmente o laser durante a leitura pelo aparelho, visando uma amostragem representativa dos tamanhos de gota produzidos por toda a extensão do jato da ponta (Calore et al., 2015).

Na caracterização do espectro das gotas, foi determinado o diâmetro das gotas ( $\mu\text{m}$ ) em que 10%, 50% e 90% do volume pulverizado foi medido, representado pelos valores DV0,1, DV0,5 e DV0,9. As gotas propensas à deriva foram analisadas considerando a porcentagem do volume de gotas menores que 100  $\mu\text{m}$  (%Vol<100  $\mu\text{m}$ ). O coeficiente de uniformidade (SPAN) representa a distribuição do espectro de gotas e é calculado pela fórmula:

$$SPAN = (DV0,9 - DV0,1) / DV0,5$$

A ponta de pulverização utilizada foi classificada de acordo com o tamanho das gotas produzidas, seguindo a metodologia padrão de classificação de tamanho de gotas da ASABE (2020). Esta metodologia envolve a medição precisa do diâmetro das gotas, garantindo que a classificação seja consistente e confiável.

#### **2.2.4. Viscosidade**

Para a avaliação da viscosidade das caldas, foi utilizado um viscosímetro rotacional (USS – DVT4 Digital Rotary Viscometer). A viscosidade foi medida com base no torque necessário para rotacionar um cilindro submerso em 15 mL da calda de pulverização em análise. Os cilindros foram selecionados de acordo com as características do líquido (Fritz et al., 2010; Oliveira et al., 2015). Para esta pesquisa, foi utilizado um cilindro com diâmetro de 100 mm (referência S-28), conforme recomendação do fabricante, por se tratar de líquidos Newtonianos, com viscosidade constante e valores próximos aos da água. A rotação utilizada foi de 60 rpm. As leituras das caldas foram feitas em três repetições.

#### **2.3. Avaliação de depósito das caldas fitossanitárias**

Para determinar o depósito químico dos produtos dos tratamentos pulverizados, foi adicionado sulfato de manganês (31% Mn) às caldas de pulverização, na concentração de  $6,0 \text{ g L}^{-1}$  (Costa et al., 2015). Coletores de material acetato foram predispostos de acordo com a arquitetura de cada espécime de planta, representando o depósito de calda nas folhas. Após as aplicações, os acetatos foram acondicionados em sacos de plástico devidamente identificados e levados ao laboratório para análise.

Nos sacos plásticos contendo os coletores de acetato, foram adicionados 50 mL de solução de ácido clorídrico (HCl)  $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ , mantendo-os no ácido por 60 minutos para a extração do marcador (Oliveira, Machado Neto, 2003). Após esse período, o conteúdo foi filtrado com papel filtro e o extrato resultante foi utilizado para quantificação do íon metálico  $\text{Mn}^{2+}$  recuperado (ppm), utilizando um espectrofotômetro de absorção atômica (Thermo Scientific, iCE 3000 Series). As concentrações obtidas nas leituras do espectrofotômetro foram

correlacionadas às áreas dos acetatos, resultando na quantidade de  $Mn^{2+}$  expressa em  $\mu g\ cm^{-2}$ .

#### 2.4. Avaliações de controle

As avaliações dos tratamentos no controle de apaga-fogo e capim carrapicho foram realizadas aos 3, 7, 14 e 21 dias após a aplicação dos tratamentos. As notas de controle das plantas foram atribuídas com base na escala de porcentagem de intoxicação proposta por Frans (1986), em que uma nota de 0% representa ausência total de intoxicação e uma nota de 100% indica a morte total das plantas daninhas. Essas avaliações foram baseadas na comparação com a testemunha e definidas por meio de observações visuais em escalas de injúria. As observações incluíram a análise de sintomas como clorose, necrose, deformações e redução no crescimento das plantas (Figura 3).



**Figura 3.** Parcelas experimentais implantadas em vasos de polietileno, contendo plantas de apaga-fogo (esquerda) e capim carrapicho (direita).

A massa seca de apaga-fogo e capim carrapicho foi determinada aos 35 dias após a aplicação. As plantas restantes foram cortadas rente ao substrato do

vaso, embaladas em sacos de papel e secas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até atingirem peso constante. Após esse processo, a massa seca da parte aérea foi determinada utilizando uma balança digital (A&D GF-1000, A&D Company Ltd, Adelaide, Austrália), com precisão de 0,1 grama.

## 2.5. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de normalidade dos erros (Shapiro-Wilk) e homoscedasticidade (Bartlett), ambos a um nível de significância de 5%. Os resultados de pH, condutividade elétrica, tensão superficial, ângulo de contato, tamanho de gotas, viscosidade, depósito, matéria seca e controle de plantas daninhas foram analisados por meio de análise de variância (ANOVA) utilizando o teste F. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), garantindo a identificação de diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos. O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso (DIC), assegurando a validade dos resultados. Para a análise estatística, foi utilizado o software Agrostat, que oferece ferramentas robustas para a análise de dados agrônômicos.



Figura 4. (A) Plantas de apaga-fogo e capim carrapicho antes da aplicação, (B) Aplicação realizada com pulverizador montado (quadriciclo Honda® 4x4 Fourtrax Fuel Injection), pressurizado com CO<sup>2</sup>, equipado com barra contendo quatro

bicos de pulverização, (C) plantas de apaga-fogo e capim carrapicho após a aplicação.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 Estabilidade físico-química das caldas fitossanitárias**

Na avaliação de estabilidade físico-química, aos 0, 2, 6 e 24 horas após o preparo (HAP), foram observadas incompatibilidades físico-químicas, como a formação de sedimento e cristais, em todos os tratamentos (Tabela 3). As incompatibilidades físico-químicas podem ocorrer devido às interações entre os produtos fitossanitários dentro do tanque, resultando em interações aditivas, sinérgicas ou antagônicas. Essas interações podem provocar reações físicas e químicas que reduzem a eficácia dos ingredientes ativos utilizados na aplicação (Tavares et al., 2015).

A sedimentação observada durante o preparo da calda geralmente resulta das reações entre íons presentes e da solubilidade dos produtos na água. Por exemplo, produtos com alta tendência à sedimentação, devido à dificuldade de diluição, como as formulações WG, necessitam de agitação constante (Carvalho et al., 2022). Não houve floculação ou formação de grumos após a agitação em nenhum dos tratamentos em todas as observações, mas a sedimentação e a formação de cristais ocorreram em todos os tratamentos (Tabela 2).

As reações causadas pela mistura em tanque podem promover a separação de fases e a formação de aglomerados e precipitados (Vechia, 2017). Durante o processo de aplicação, as gotas de pulverização destinadas ao alvo podem não ter a eficiência esperada devido à degradação do ingrediente ativo, resultando em uma redução na eficácia do controle do alvo (Cessa et al., 2013).

Em relação à formação de espuma durante o preparo e agitação das soluções (Tabela 3), observou-se que não houve formação de espuma no tratamento com glifosato + imazetapir + óleo vegetal de soja. Nos demais

tratamentos, a espuma persistiu ao longo das avaliações realizadas aos 0, 2, 6 e 24 HAP. A formação de espuma durante o preparo da calda no tanque de pulverização não é uma característica desejável, é frequentemente necessário interromper o processo de preparo quando a espuma começa a transbordar do tanque. De modo que a espuma formada pode ocupar o volume que deveria ser preenchido pela água, tornando a calda mais concentrada do que o indicado e/ou prolongando o tempo de preparo da calda de pulverização. Além disso, a formação de espuma pode promover o desperdício de ingredientes ativos e a contaminação do meio ambiente. A presença de espuma pode também interferir na precisão da dosagem dos produtos fitossanitários, levando a uma aplicação desigual e potencialmente ineficaz. A espuma pode causar problemas operacionais, como entupimento de pontas de pulverização e dificuldades a limpeza do equipamento. Portanto, a escolha de adjuvantes que minimizem a formação de espuma é crucial para garantir a eficiência e a segurança do processo de pulverização, além de reduzir o impacto ambiental negativo (Mendonça, 2004).

**Tabela 3.** Estabilidade física para os tratamentos quanto a homogeneidade/heterogeneidade.

	0 horas				
Tratamentos	Floculação	Sedimentação	Grumo	Cristal	Espuma (cm)
G + I*		x		x	3,50
G + I + óleo de laranja		x		x	5,00
G + I + óleo de soja		x		x	0,00
G + I + óleo mineral		x		x	1,75
	2 Horas				
Tratamentos	Floculação	Sedimentação	Grumo	Cristal	Espuma (cm)
G + I*		x		x	2,50
G + I + óleo de laranja		x		x	3,12
G + I + óleo de soja		x		x	0,00
G + I + óleo mineral		x		x	2,07
	6 Horas				
Tratamentos	Floculação	Sedimentação	Grumo	Cristal	Espuma (cm)
G + I*		x		x	2,17
G + I + óleo de laranja		x		x	4,07
G + I + óleo de soja		x		x	0,00
G + I + óleo mineral		x		x	2,25

Tratamentos	24 Horas				
	Floculação	Sedimentação	Grumo	Cristal	Espuma (cm)
G + I*		x		x	2,11
G + I + óleo de laranja		x		x	3,87
G + I + óleo de soja		x		x	0,00
G + I + óleo mineral		x		x	2,16

\*Glifosato + Imazetapir

### 3.2 Potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica das caldas fitossanitárias

No intuito de verificar o pH das caldas, foram realizadas avaliações logo após o preparo das caldas a 0 horas, 2, 6 e 24 horas de repouso (HAR). Para todas as caldas houve uma redução de pH com o passar das horas (Tabela 3). Em 0 horas, o glifosato + imazetapir e glifosato + imazetapir + óleo vegetal de laranja não diferiram entre si, glifosato + imazetapir + óleo vegetal de soja e glifosato + imazetapir + óleo mineral diferiram, sendo que o óleo vegetal de soja apresentou maior redução. Nos tempos de 2 e 6 horas o único tratamento que apresentou diferença foi glifosato + imazetapir + óleo vegetal de soja, com maior redução. E, com 24 horas, glifosato + imazetapir e glifosato + imazetapir + óleo vegetal de laranja não diferiram, sendo que glifosato + imazetapir + óleo vegetal de soja apresentou maior redução.

A redução do pH ao longo do tempo pode ser atribuída à interação dos componentes das caldas com os adjuvantes. O óleo vegetal de soja, em particular, parece ter uma capacidade maior de acidificar a calda, o que pode influenciar a estabilidade e a eficácia dos herbicidas. A acidificação pode melhorar a solubilidade de alguns ingredientes ativos, mas também pode levar à degradação de outros, dependendo da sua estabilidade em diferentes faixas de pH. A escolha do adjuvante, portanto, deve considerar não apenas a eficácia imediata, mas também a estabilidade da calda ao longo do tempo. Esses resultados destacam a importância de monitorar o pH das caldas fitossanitárias

durante o armazenamento e a aplicação, para garantir que os herbicidas mantenham sua eficácia e que a aplicação seja segura e eficiente (Silva, 2024).

O pH ideal para o herbicida glifosato agir de modo efetivo deve ser entre 3 e 5, por ser um ácido fraco. Nessa faixa de pH da calda entre 3 e 5, os íons encontram-se não dissociados favorecendo a absorção foliar do glifosato devido a maior facilidade de atravessar membranas das células (Vellini e Trindade, 1992), aumentando a eficácia do produto glifosato a campo (Sanchotene et al, 2007). Nesse sentido, todos os tratamentos analisados atendem a condição, conforme observado.

Com relação a condutividade elétrica, nos tempos de 0, 2 e 6 horas o único tratamento que apresentou diferença significativa foi o tratamento com a mistura de glifosato + imazetapir (Tabela 5). Após 24 horas, o tratamento de glifosato + imazetapir + óleo vegetal de soja apresentou menor condutividade elétrica. Quanto maior for a quantidade de íons dissolvidos, mais alto é o valor da condutividade elétrica de uma amostra de água (Rheinheimer, 2000).

**Tabela 4.** Valores de pH das caldas de glifosato + imazetapir associadas a adjuvantes.

Tratamentos	pH			
	0h	2h	6h	24h
G + I*	3,13 B**	3,11 A	2,94 A	2,92 B
G + I + óleo de laranja	3,13 B	3,16 A	2,99 A	2,98 AB
G + I + óleo de soja	2,86 C	2,79 B	2,73 B	2,72 C
G + I + óleo mineral	3,2 A	3,15 A	2,99 A	2,99 A
DMS	0,07	0,06	0,06	0,06
CV	1,09	1,04	1,00	1,07

\*Glifosato + Imazetapir

\*\* Valores seguidos de letras iguais por coluna representam que não há diferença significativa pelo teste de Tukey a p-valor  $\leq 5\%$ .

**Tabela 5.** Valores de condutividade elétrica das caldas de glifosato + imazetapir associadas a adjuvantes.

Tratamentos	Condutividade ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )			
	0h	2h	6h	24h
G + I*	8,20 B**	8,46 B	8,72 C	8,67 B
G + I + óleo de laranja	9,27 A	9,20 A	9,27 AB	9,23 A
G + I + óleo de soja	9,47 A	9,43 A	9,30 A	9,24 A
G + I + óleo mineral	9,41 A	9,25 A	9,01 B	8,99 A
DMS	0,48	0,61	0,27	0,26
CV	2,54	3,22	1,43	1,39

\*Glifosato + Imazetapir

\*\* Valores seguidos de letras iguais por coluna representam que não há diferença significativa pelo teste de Tukey a p-valor  $\leq 5\%$ .

### 3.3 Viscosidade

A análise de viscosidade das misturas de glifosato + imazetapir, quando associadas a diferentes adjuvantes, não revelou diferenças significativas entre os herbicidas. As concentrações observadas e a natureza das formulações não afetaram a viscosidade das caldas a ponto de interferir na aplicação dos herbicidas. Conforme os valores apresentados na Tabela 6, não houve efeito significativo dos tratamentos na viscosidade das caldas.

**Tabela 6.** Valores de Viscosidade (mPa.s) das avaliações de caldas constituídas de glifosato + imazetapir e associados aos adjuvantes.

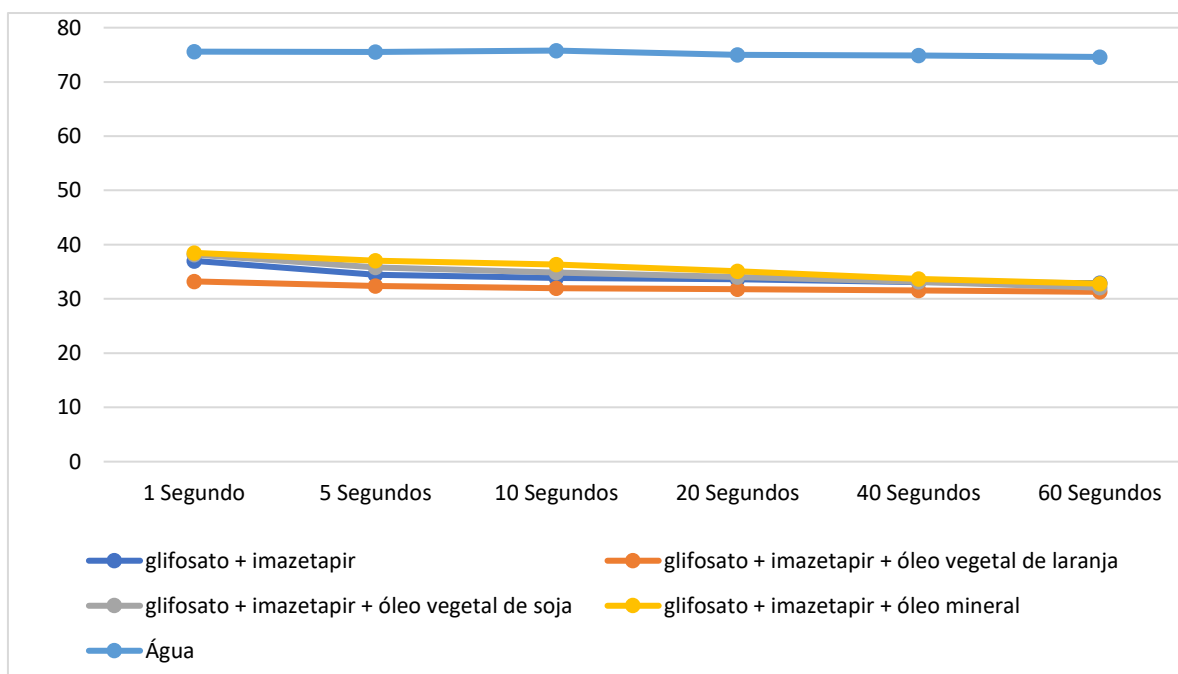
Tratamentos	Viscosidade
G + I*	2,57 A**
G + I + óleo de laranja	2,65 A
G + I + óleo de soja	2,60 A
G + I + óleo mineral	2,60 A
DMS	0,08
CV	1,46

\*Glifosato + Imazetapir

\*\* Valores seguidos de letras iguais por coluna representam que não há diferença significativa pelo teste de Tukey a  $p$ -valor  $\leq 5\%$ .

### 3.4 Tensão superficial e ângulo de contato das caldas fitossanitárias

Durante os 60 segundos a tensão superficial é monitorada continuamente ou em intervalos regulares. Isso ajuda a observar como a tensão superficial muda com o tempo. Essas mudanças podem ocorrer devido à dissolução dos adjuvantes, à formação de micelas ou à interação entre os componentes.

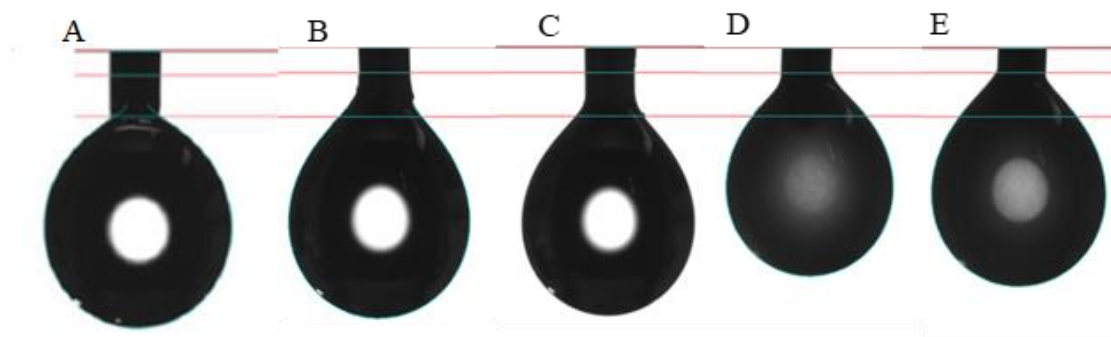


**Figura 4.** Valores de tensão superficial ( $\text{mN m}^{-1}$ ) capturadas até 60 segundos após a formação das gotas.

A análise dos tratamentos revelou que a tensão superficial variou significativamente em comparação com a água destilada. A água destilada apresentou os maiores valores de tensão superficial, seguida pelas caldas contendo apenas glifosato + imazetapir e glifosato + imazetapir + óleo mineral, que mostraram valores similares. Em contraste, a calda com glifosato + imazetapir + óleo vegetal de laranja apresentou os menores valores de tensão superficial.

A água destilada, utilizada como controle, apresentou a maior tensão superficial, indicando menor capacidade de espalhamento sobre as superfícies tratadas. A adição de óleo mineral e óleo vegetal de laranja influenciou de maneira distinta a tensão superficial das caldas. O óleo vegetal de laranja reduziu significativamente a tensão superficial, o que pode melhorar a cobertura e a penetração dos herbicidas nas folhas das plantas. As variações na tensão superficial ao longo do tempo foram mínimas, indicando que as caldas mantiveram suas propriedades físico-químicas estáveis durante o período analisado. A redução da tensão superficial com o uso de óleo vegetal de laranja pode ser benéfica para a aplicação de herbicidas, melhorando a eficiência da pulverização e a adesão das gotas às superfícies das plantas.

Na Figura 5, são apresentadas imagens capturadas aos 10 segundos para cada tratamento, ilustrando as diferenças na formação e no comportamento das gotas de cada calda. Esses resultados destacam a importância de selecionar adjuvantes que otimizem a tensão superficial das caldas, garantindo uma aplicação mais eficaz e uniforme dos herbicidas.



**Figura 5.** Imagens de tensão superficial capturadas aos 10 segundos após a formação das gotas. Tratamentos: A = Água destilada ( $75,47 \text{ mN m}^{-1}$ ); B = glifosato + Imazetapir ( $33,88 \text{ mN m}^{-1}$ ); C = glifosato + imazetapir + óleo vegetal de laranja ( $31,97 \text{ mN m}^{-1}$ ); D = glifosato + imazetapir + óleo vegetal de soja ( $34,86 \text{ mN m}^{-1}$ ); E = glifosato + imazetapir + óleo Mineral ( $36,35 \text{ mN m}^{-1}$ ).

Para efeito de comparação, foram utilizados os dados registrados pontualmente aos 10 segundos, uma vez que, a partir deste tempo os valores tendem a se estabilizar. Os dados estão apresentados na Tabela 7. A água

destilada apresentou maior tensão superficial aos 10 segundos de análise, conforme esperado. Observa-se que a mistura dos produtos reduziu a tensão superficial das caldas para cerca da metade do valor em relação a da água.

Para comparar as caldas contendo glifosato + imazetapir e suas associações com diferentes adjuvantes, observou-se que a adição do óleo vegetal de soja não reduziu a tensão superficial em comparação com a calda contendo apenas glifosato + imazetapir. Da mesma forma, a adição do óleo mineral não resultou em uma redução da tensão superficial em comparação com a calda contendo apenas óleo vegetal de soja. No entanto, a adição do óleo vegetal de laranja resultou em uma tensão superficial significativamente menor, destacando-se dos demais tratamentos (Tabela 7).

Geralmente, caldas com tensões superficiais menores resultam em espalhamento mais acentuado, uma vez que, menor tensão superficial significa menor resistência de uma gota de um líquido em permanecer em formato esférico. Assim, a informação sobre os parâmetros tensão superficial e ângulo de contato formados pela calda fitossanitária sobre a superfície do alvo são de importância na definição da configuração da pulverização adequada para o alvo, levando em consideração o local onde as gotas devem atingir. A avaliação da tensão superficial de soluções confeccionadas exclusivamente com a presença de agentes surfactantes nas composições dos adjuvantes (Mendonça et al, 1999). A classe e a composição química dos produtos fitossanitários exercem diferentes influências nas propriedades físico-químicas da calda (De Schampheleire, 2004), em especial quando associados a vários adjuvantes. Assim, Mendonça et al e Schampheleire, estudos envolvendo tecnologia de aplicação deveriam ser realizados não apenas com água, mas também com o produto fitossanitário e/ou adjuvante.

É importante destacar também que a tensão superficial apresenta elevada correlação com o espalhamento das gotas, mas que há exceções, com maior ou menor espalhamento, explicadas pela afinidade entre o líquido e a superfície e vice-versa. Esta afinidade é resultante da conformação e da composição da superfície.

A tensão superficial é a força que atua na superfície de um líquido. Em geral, uma tensão superficial mais baixa facilita o espalhamento das gotas sobre uma superfície, pois as gotas tendem a se achatar e cobrir uma área maior. No entanto, a relação entre tensão superficial e espalhamento não é sempre linear devido a vários fatores. A afinidade entre o líquido (a calda) e a superfície (as folhas das plantas) é crucial. Essa afinidade depende da conformação (forma e estrutura) e da composição (material e características químicas) da superfície.

Superfícies hidrofóbicas (como folhas cerosas) tendem a repelir a água, mesmo que a calda tenha baixa tensão superficial. Isso ocorre porque a cera cria uma barreira que impede o espalhamento das gotas. Superfícies hidrofílicas (como folhas sem cera) permitem que a calda se espalhe mais facilmente, resultando em uma cobertura mais uniforme.

**Tabela 7.** Resultados de tensão superficial dos tratamentos, aos 10 s após a formação da gota.

Tratamentos	Tensão superficial (mN.m <sup>-1</sup> )
Água	75,47 A**
G + I*	33,88 C
G + I + óleo de laranja	31,97 D
G + I + óleo de soja	34,86 BC
G + I + óleo mineral	36,35 B

\*Glifosato + Imazetapir

\*\* Valores seguidos de letras iguais por coluna representam que não há diferença significativa pelo teste de Tukey a p-valor  $\leq 5\%$ .

### 3.5 Ângulo de contato em superfície artificial das caldas fitossanitárias

O ângulo de contato das gotas na superfície de filme parafinado (Parafilm M®) nas análises durante 60 segundos (Figura 6), observou que as caldas dos herbicidas com adjuvantes diferem de forma acentuada em

comparação com a água. Além disso, os valores de ângulo variaram pouco durante o tempo analisado.

A análise do ângulo de contato das gotas na superfície de filme parafinado (Parafilm M®) ao longo de 60 segundos (Figura 7) revelou diferenças acentuadas entre as caldas dos herbicidas com adjuvantes e a água destilada. Os valores de ângulo variaram pouco durante o período analisado. A água destilada apresentou os maiores valores de ângulo de contato, enquanto as caldas contendo glifosato + imazetapir, glifosato + imazetapir + óleo vegetal de soja e glifosato + imazetapir + óleo mineral apresentaram valores reduzidos e similares entre si. Em contraste, a calda com glifosato + imazetapir + óleo vegetal de laranja apresentou um ângulo de contato significativamente menor, destacando-se dos demais tratamentos. Na Figura 3 estão representadas imagens capturadas aos 10 segundos para cada tratamento



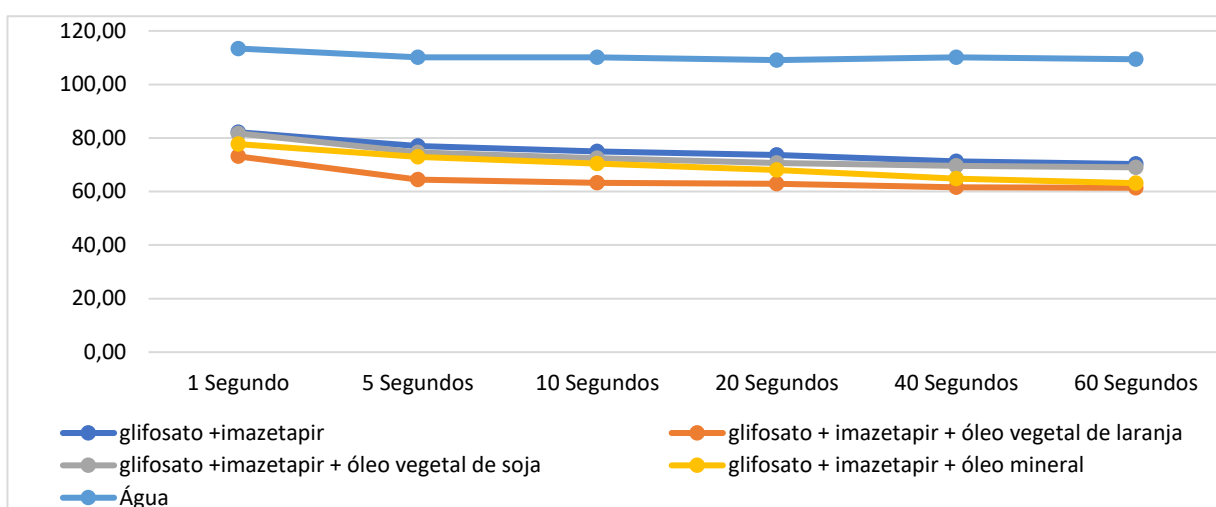
**Figura 6.** Imagens de ângulo de contato em superfície filme parafinado capturadas aos 10 segundos após a formação das gotas. Tratamentos: A = Água destilada ( $110,93^\circ$ ); B = glifosato + Imazetapir ( $74,99^\circ$ ); C = glifosato + imazetapir + óleo vegetal de laranja ( $63,19^\circ$ ); D = glifosato + imazetapir + óleo vegetal de soja ( $72,48^\circ$ ); E = glifosato + imazetapir + óleo Mineral ( $70,46^\circ$ ).

Para efeito de comparação do ângulo de contato, foram utilizados os dados registrados pontualmente aos 10 segundos, uma vez que, a partir deste tempo os valores tendem a se estabilizar, assim como para a tensão superficial (Tabela 7). A água destilada foi a que apresentou maior ângulo de contato aos 10 segundos de análise, sendo diferente das demais caldas. Além disso, é possível observar que a mistura dos adjuvantes à calda dos tratamentos.

**Tabela 8.** Resultados de ângulo de contato das caldas fitossanitárias em superfície Parafilm.

Tratamentos	Ângulo de contato (°)
Água	110,93 A**
G + I*	74,99 B
G + I + óleo de laranja	63,19 C
G + I + óleo de soja	72,48 B
G + I + óleo mineral	70,46 B

\*Glifosato + Imazetapir\*\* Valores seguidos de letras iguais por coluna representam que não há diferença significativa pelo teste de Tukey a p-valor  $\leq$  5%.



**Figura 7.** Valores de ângulos (°) capturados aos 60 segundos após a formação das gotas na agulha.

Para a comparação entre as caldas com glifosato + imazetapir e sua associação com adjuvantes, os adjuvantes a base de óleo vegetal de soja e óleo mineral não reduziram o ângulo de contato, quando comparado a calda com apenas glifosato + imazetapir (Tabela 8). Por outro lado, a adição de óleo vegetal de laranja reduziu de forma significativa o ângulo de contato quando comparado a calda com apenas herbicidas. Apesar desses adjuvantes serem diferentes estaticamente quando comparados ao glifosato + imazetapir + óleo vegetal de soja e a apenas ao glifosato + imazetapir.

O ângulo de contato e o espalhamento de uma gota são fundamentais para a sua eficácia biológica. Um ângulo de contato menor resulta em melhor espalhamento da gota sobre a superfície foliar, aumentando a área de contato e melhorando a adesão do produto. Isso facilita a penetração dos ingredientes ativos nas células da planta, potencializando no controle (Avila et al, 2020).

### **3.6 Tamanho de gotas**

Para os resultados de tamanho de gotas foram diferenças entre os tratamentos para cada parâmetro avaliado (Tabela 9).

Para o  $DV_{0,1}$ , que representa o diâmetro de gota do qual 10% do volume total da amostra é de gotas menores que ela, a calda composta de glifosato + imazetapir + óleo vegetal de soja e glifosato + imazetapir + óleo mineral foram as que apresentaram maiores valores. Enquanto as caldas apenas com água, glifosato + imazetapir não diferindo entre si, e a calda composta por glifosato + imazetapir + óleo vegetal de laranja, apenas comparando com glifosato + imazetapir diferindo entre si.

O diâmetro mediano volumétrico (DMV) representa o diâmetro da gota cujo 50% do volume total da amostra é de gotas menores que ela. As caldas com glifosato + imazetapir mais os adjuvantes óleo vegetal de soja e óleo mineral apresentaram os maiores valores de DMV, não diferindo entre si. Já as caldas com apenas Água, apenas glifosato + imazetapir e glifosato + imazetapir + óleo vegetal de laranja, apresentaram os menores valores de DMV, não diferindo entre si.

Para o  $DV_{0,9}$ , que representa o diâmetro de gota cujo 90% do volume total da amostra é de gotas menores que ela, o glifosato + imazetapir, proporcionou o maior valor para este parâmetro, porém não diferindo dos demais tratamentos.

Os menores valores de %Vol<100 $\mu$ m (porcentagem de gotas menores que 100  $\mu$ m) foram produzidos pelas caldas contendo glifosato + imazetapir + óleo vegetal de soja e glifosato + imazetapir + óleo mineral.

Enquanto os maiores valores foram proporcionados pelas caldas contendo apenas água, apenas glifosato + imazetapir e a mistura de glifosato + imazetapir + óleo vegetal de laranja. Para as caldas que apresentaram os maiores valores, existe a implicação de resultarem em gotas mais sujeitas à deriva.

O coeficiente de uniformidade (Span) é um valor que representa a distribuição do espectro de gotas, quanto mais próximo de zero mais uniforme é o espectro das gotas. O Span mais próximo de zero ocorreu com a calda glifosato + imazetapir + óleo vegetal de soja, e a calda glifosato + imazetapir + óleo mineral, e diferenciando entre eles. As caldas com apenas água, apenas glifosato + imazetapir e com glifosato + imazetapir + óleo vegetal de laranja foram as que apresentaram os maiores valores de Span, sujeito a um maior potencial de deriva.

**Tabela 9.** Resultados de tamanho de gotas ( $\mu\text{m}$ ) em  $DV_{0,1}$ ; DMV;  $DV_{0,9}$ , %Vol<100 $\mu\text{m}$  e coeficiente de uniformidade (SPAN).

Tratamentos	$DV_{0,1}$	DMV	$DV_{0,9}$	%Vol<100 $\mu\text{m}$	Span
Água	116,05 CD**	292,15 B	588,46 A	6,65 AB	1,61 B
G + I*	114,51 D	290,19 B	598,37 A	6,87 A	1,66 A
G + I + óleo de laranja	119,07 C	295,66 B	581,21 A	6,14 B	1,56 C
G + I + óleo de soja	137,91 A	332,91 A	584,38 A	4,19 C	1,34 E
G + I + óleo mineral	131,47 B	323,91 A	590,03 A	4,65 C	1,41 D

\*Glifosato + Imazetapir

\*\* Valores seguidos de letras iguais por coluna representam que não há diferença significativa pelo teste de Tukey a p-valor  $\leq 5\%$ .

Baseando-se nos parâmetros como Diâmetro Mediano Volumétrico (DMV), a porcentagem do volume com gotas menores que 100 $\mu\text{m}$ , e o coeficiente de uniformidade, pode-se avaliar a qualidade das gotas em aplicações de herbicidas. Gotas maiores, com uma porcentagem reduzida de volume menor que 100  $\mu\text{m}$ , são menos propensas à deriva, característica altamente valorizada na aplicação de herbicidas. quanto maior a gota maior o tempo de evaporação da mesma, melhorando a deposição e absorção pela cutícula das plantas. Esse perfil de gotas é particularmente benéfico para a

aplicação de herbicidas como o glifosato e o imazetapir, pois maximiza a eficácia ao minimizar o impacto ambiental e a contaminação fora do alvo (Costa et al, 2017; Feng et al, 2003), com mais segurança.

Menores valores do coeficiente de uniformidade, significam um maior volume em gotas semelhantes ao diâmetro escolhido para aplicação, com maior chance de atingir ao alvo, com menos perdas por acúmulo excessivo, por ricocheteio ou escorrimento e por deriva e evaporação (Cunha,2003). Neste contexto, dentre as caldas avaliadas, a que apresenta maior padrão de qualidade, no conjunto, foi a dos herbicidas associado ao óleo vegetal de soja e ao óleo mineral.

A combinação entre as formulações dos herbicidas e adjuvantes resultou na melhoria dos indicadores de tamanho de gotas (Tabela 8). Não fica evidente, porém, qual o parâmetro físico-químico mais influente nestes resultados, uma vez que as variações observadas aparentemente não se relacionam com os resultados obtidos no tamanho das gotas. Isso pode ser devido à sensibilidade do método utilizado, que pode não ter sido suficiente para detectar diferenças significativas entre as caldas, como no caso da viscosidade, por exemplo. Além disso, pode haver uma interação entre diferentes parâmetros, como pH e condutividade, que potencializam um ao outro. No contexto da calda, esses fatores, juntamente com a viscosidade e a tensão superficial, podem ter um efeito aditivo, influenciando o resultado final.

### **3.7. Depósito foliar**

Nos experimentos com capim carrapicho, as caldas contendo glifosato + imazetapir (G + I) associadas a óleo de soja apresentaram os maiores depósitos de herbicida nas duas repetições dos experimentos, indicando uma configuração mais adequada para a aplicação do herbicida sobre as folhas do capim carrapicho. As caldas com óleo de laranja e óleo mineral apresentaram depósitos

menores e similares entre si, sugerindo que esses adjuvantes não colaboraram para a qualidade da aplicação do herbicida em comparação ao óleo de soja.

Para Apaga-fogo, as caldas contendo glifosato + imazetapir (G + I) associadas a óleo de soja e óleo mineral apresentaram os maiores depósitos de herbicida, especialmente no primeiro experimento, indicando uma maior eficácia na adesão do herbicida às folhas da *Alternanthera tenella*. (Tabela 9).

**Tabela 10.** Porcentagem de depósito foliar nos dois experimentos em capim carrapicho (*Cenchrus echinatus* L) e Apaga-fogo (*Alternanthera tenella*).

Capim carrapicho		
	Primeiro experimento	Segundo experimento
Trat.	Depósito ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ )	Depósito ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ )
G + I*	1,67 $\pm$ 0,15 AB*	1,72 $\pm$ 0,10 A*
G + I + óleo de laranja	1,34 $\pm$ 0,11 B	1,87 $\pm$ 0,15 A
G + I + óleo de soja	1,96 $\pm$ 0,11 A	2,21 $\pm$ 0,18 A
G + I + óleo mineral	1,34 $\pm$ 0,09 B	1,80 $\pm$ 0,12 A
DMS	0,1226243	0,5815
CV%	13,731658	18,910620
Apaga-fogo		
	Primeiro experimento	Segundo experimento
Trat.	Depósito ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ )	Depósito ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ )
G + I*	1,99 $\pm$ 0,13 B*	1,63 $\pm$ 0,09 A*
G + I + óleo de laranja	2,63 $\pm$ 0,13 A	1,75 $\pm$ 0,13 A
G + I + óleo de soja	2,90 $\pm$ 0,13 A	2,08 $\pm$ 0,12 A
G + I + óleo mineral	2,77 $\pm$ 0,08 A	1,81 $\pm$ 0,11 A
DMS	0,5552	0,4736
CV%	13,338289	16,076990

\*Letras maiúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

A adição de adjuvantes altera as características físico-químicas das caldas dos produtos fitossanitários, como tal como pode reduzir a tensão superficial, proporcionando um menor ângulo de contato e, promovendo uma maior afinidade da calda com a superfície, resultando também em maior adesão e espalhamento das gotas na superfície da planta, e com maior retenção do ingrediente ativo com consequente aumento do controle do alvo (Costa et al., 2017). Observa-se que o uso do adjuvante à base de óleo vegetal de soja contribuiu para maiores depósitos. Em contrapartida, a calda apenas com

herbicidas, sem a adição de adjuvantes, apresentou menores valores de depósito.

O montante de depósito sobre o alvo pode ser influenciado pela redução drástica da tensão superficial das gotas, resultando em uma lâmina maior e mais fina sobre a folha. Os tratamentos com adjuvantes apresentaram maiores valores numéricos de depósito do que o tratamento apenas com os herbicidas (Melo, 2019).

### 3.8. Controle de apaga fogo e capim carrapicho

O controle de apaga-fogo e capim carrapicho foi progressivo até os 21 dias após a aplicação (DAA), em ambos os experimentos. O tratamento G + I + óleo vegetal de soja apresentou os maiores valores de controle em ambas as repetições, especialmente nos primeiros 14 dias (Tabela 11).

**Tabela 11.** Eficácia de controle com 3, 7, 14, 21 dias após aplicação em Apaga-fogo em função do uso de glifosato + imazetapir em associação com adjuvantes.

Controle (%) de <i>Alternanthera tenella</i> (apaga-fogo)				
Tratamentos	Primeiro Experimento			
	3 dias	7 dias	14 dias	21 dias
G + I*	4,16 ± 0,30 B*	39,50 ± 0,34 B*	92,33 ± 0,42 B*	<b>100</b>
G + I + óleo de laranja	4,00 ± 0,44 B	40,00 ± 1,18 B	93,00 ± 1,59 AB	100
G + I + óleo de soja	6,33 ± 0,21 A	44,00 ± 0,36 A	97,00 ± 0,63 A	100
G + I + óleo mineral	4,83 ± 0,30 B	39,66 ± 0,98 B	94,50 ± 1,23 AB	100
DMS	1,3028	3,2083	4,2576	-
CV%	16,680533	4,8670801	2,7966786	-
Tratamentos	Segundo Experimento			
	3 dias	7 dias	14 dias	21 dias
G + I*	1,83 ± 0,16 C*	32,16 ± 0,30 C*	92,83 ± 0,30 C*	<b>100</b>
G + I + óleo de laranja	3,16 ± 0,16 B	33,16 ± 0,40 B	94,50 ± 0,42 B	100
G + I + óleo de soja	5,33 ± 0,21 A	36,66 ± 0,33 A	97,66 ± 0,21 A	100
G + I + óleo mineral	3,83 ± 0,16 B	34,66 ± 0,33 B	94,83 ± 0,30 B	100
DMS	0,7075	1,3680	1,2775	-

CV%	12,361342	2,4777415	0,8325435	-
-----	-----------	-----------	-----------	---

\*G + I = glifosato + imazetapir

\*Letras maiúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.



**Figura 8.** Avaliação de controle das plantas daninhas aos 3, 7 e 14 dias após aplicação

.1: Testemunha; 2: *Zaap QI 720 WG®* (Syngenta.) + *Imazetapir®* (G+I) (Nortox); 3: G+I + *Fixer AP* (De Sangosse Agroquímica Ltda.); 4: G+I + *DualKill* (Agroceres Binova); 5: G+I + *Ássist EC®* (Syngenta.)

O óleo de soja acelera o controle de apaga-fogo em comparação com os outros tratamentos. Ambos os tratamentos de G + I + óleo de laranja e G + I + óleo mineral, também mostraram bons resultados, mas com variações de resultados entre o primeiro e segundo experimento potencial de aceleração no controle de apaga fogo foi o com óleo de soja. O tratamento G + I apresentou os menores valores de controle nos primeiros dias, mas alcançou 100% de controle aos 21 dias. Isso mostra que, embora o herbicida sozinho seja eficaz a longo prazo, a adição do adjuvante óleo vegetal de soja acelera e melhora a eficácia inicial.

A adição de adjuvantes, como óleos vegetais, reduziu a tensão superficial do líquido. O óleo de soja se destacou se destacou por acelerar o controle de apaga-fogo, possivelmente devido às suas propriedades químicas que

favorecem a penetração e a retenção do herbicida. Os resultados indicam que a adição de óleo de soja ao herbicida G + I acelerou o controle de apaga-fogo, proporcionando maior depósito e controle mais rápido e consistente (Tabela 09 e 10). Procópio et al. (2007) também verificaram que a adição de adjuvantes melhorou a eficácia dos herbicidas. Os óleos vegetais possuem uma afinidade natural pelas superfícies das plantas, dada a origem natural da matéria prima. Em geral, promovem um melhor espalhamento e uma melhor absorção cuticular e extracelular, em relação a alguns adjuvantes sintéticos (Kissmann,2020). Os óleos minerais, por sua vez, agredem as paredes celulares da cutícula, realizando uma penetração intracelular, com efeitos mais agudos de intoxicação (Kissmann,2020). Por outro lado, para adjuvantes que colaboram para uma absorção e translocação mais profunda, os efeitos tendem a ser maiores e mais duradouros. Sendo assim, para herbicidas com maior aptidão sistêmica, aparentemente se pode obter eficácia de controle mais definitiva, com adjuvantes que permitem e/ou promovem uma absorção mais profunda.

**Tabela 12.** Eficácia de controle com 3, 7, 14, 21 dias após aplicação em *capim carrapicho* em função do uso de glifosato + imazetapir em associação com adjuvantes.

Capim carrapicho				
Tratamentos	Primeiro Experimento			
	% Controle			
	3 dias	7 dias	14 dias	21 dias
G + I*	1,50 ± 0,22 C*	37,00 ± 0,36 B*	90,33 ± 0,42 B*	<b>100</b>
G + I + óleo de laranja	2,50 ± 0,22 B	38,16 ± 0,54 AB	91,33 ± 1,38 AB	100
G + I + óleo de soja	3,66 ± 0,21 A	40,50 ± 0,84 A	95,16 ± 0,54 A	100
G + I + óleo mineral	3,50 ± 0,22 A	37,50 ± 0,56 B	91,50 ± 1,23 AB	100
DMS	0,8727	2,3923	3,9085	-
CV%	19,345495	3,8661881	2,6242430	-
Segundo Experimento				
Tratamentos	% Controle			
	3 dias	7 dias	14 dias	21 dias
G + I*	1,50 ± 0,22 B*	31,5 ± 0,56 C*	91,50 ± 0,22 B*	<b>100</b>
G + I + óleo de laranja	2,33 ± 0,21 B	32,66 ± 0,33 BC	93,16 ± 0,70 B	100
G + I + óleo de soja	3,50 ± 0,22 A	36,66 ± 0,33 A	99,83 ± 0,16 A	100
G + I + óleo mineral	3,33 ± 0,21 A	34,00 ± 0,57 B	91,66 ± 0,42 B	100
DMS	0,8602	1,8484	1,7140	-
CV%	19,960899	3,3932974	1,1278619	-

\*G + I = glifosato + imazetapir

\*Letras maiúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

A mistura em tanque dos herbicidas (G+I) resultou em um controle mais eficaz sobre as plantas de apaga-fogo e capim carrapicho quando associado ao óleo vegetal de soja, promovendo maiores valores de controle e menores valores de massa de matéria seca. A combinação de dois ou mais produtos em uma mistura de tanque pode gerar efeitos aditivos, sinérgicos ou antagônicos. Estudos realizados por Takano et al. (2013) avaliaram a interação entre 2,4-D e glifosato em mistura de tanque e demonstraram um efeito sinérgico entre essas moléculas. Assim, o melhor controle de *A. tenella* foi alcançado através da associação das moléculas de 2,4-D com glifosato, evidenciando um efeito sinérgico.

**Tabela 13.** Matéria seca de *apaga fogo* e *capim carrapicho* em função do uso de glifosato + imazetapir em associação com adjuvantes.

<b>Capim carrapicho</b>		
	Primeiro Experimento	Segundo Experimento
<b>Trat.</b>	Peso de matéria seca (g)	Peso de matéria seca (g)
G + I*	0,1823 ± 0,00 BC	0,2450 ± 0,01 C*
G + I + óleo de laranja	0,1281 ± 0,01 C	0,2903 ± 0,01 BC
G + I + óleo de soja	0,2055 ± 0,00 B	0,1720 ± 0,00 D
G + I + óleo mineral	0,6370 ± 0,03 A	0,3235 ± 0,01 A
DMS	0,0701	0,0604
CV%	15,5397	11,863118
<b>Apaga-fogo</b>		
<b>Tratamentos</b>	Peso de matéria seca (g)	Peso de matéria seca (g)
G + I*	0,1325 ± 0,00 B*	0,1511 ± 0,01 B*
G + I + óleo de laranja	0,1365 ± 0,00 B	0,1958 ± 0,01 A
G + I + óleo de soja	0,0788 ± 0,00 C	0,1200 ± 0,00 C
G + I + óleo mineral	0,1681 ± 0,01 A	0,1473 ± 0,00 C
<b>DMS</b>	0,0292	0,0354
<b>CV</b>	14,0165	14,2584

Em relação à massa seca de apaga fogo e capim carrapicho, o tratamento com G + I + óleo de soja apresentou um peso de matéria seca menor no segundo experimento, indicando e evidenciando maior eficácia no controle da planta (Tabela 13), Já o tratamento com G + I + óleo mineral apresentou o maior peso de matéria seca na primeiro experimento, sugerindo menor eficácia comparada aos outros tratamentos, Finalmente, o tratamento G + I + óleo de laranja mostrou resultados intermediários, com variações entre as repetições, G+I apresentou valores intermediários, mas consistentes entre os experimentos.

A mistura de herbicidas em tanque é amplamente adotada pelos produtores. No presente estudo, as misturas de tanque mostraram-se sinérgicas, sendo mais eficazes no controle das espécies de plantas daninhas avaliadas, ampliando o espectro de controle tanto para plantas de folhas estreitas quanto largas (Fluttert et al., 2022).

#### **4 CONCLUSÃO**

O uso dos herbicidas glifosato + imazetapir associados às formulações dos adjuvantes à base de óleo de soja apresentou-se como o tratamento mais promissor, dada a maior eficiência na estabilidade de calda, Menor formação de espuma, promoveu o menor pH, teve a maior condutividade, promoveu o maior tamanho de gotas, uniformidade, menor % de gotas deriváveis, o maior depósito, o controle mais rápido e o menor peso de MS.

## 5 REFERÊNCIAS

AGOSTINETTO, D.; FLECK, N. G.; RIZZARDI, M. A.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; MUNDSTOCK, C. M. Critical period for weed competition with wheat. *Planta Daninha*, v. 26, n. 2, p. 271-278, 2008.

ASABE. Spray Nozzle Classification by Droplet Spectra. Standard 572.3, St. Joseph, MI: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13074: Agrotóxicos - Preparação de água-padrão para ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13875: Agrotóxico - Avaliação de compatibilidade físico-química. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR NM ISSO 3310-1: Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

AVILA NETO, R. C.; MELO, A. A.; ULGUIM, A. R.; PEDROSO, R. M.; BARBIERI, G. F.; PIGATTO, C. S.; et al. Interferência de adjuvantes nas propriedades de calda dos Herbicidas 2,4-D e dicamba e sua eficácia no controle de Ipomoea. *Biosci J.*, v. 36, Supl 1, p. 238-248, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/BJ-v36n0a2020-53578>.

BLACKSHAW, Robert E.; HARKER, K. Neil. Selective weed control with glyphosate in glyphosate-resistant spring wheat (*Triticum aestivum*). *Weed Technology*, v. 16, n. 4, p. 885-892, 2002.

BOLLER, W.; FORCELINI, L. A.; HOFFMANN, L. L. Tecnologia de aplicação de fungicidas – Parte I. In: LUZ, W. C.; FERNANDES, J. M.; PRESTES, A. M.; PICININI, E. C. (Eds.). *Revisão Anual de Patologia de Plantas*. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2007. p. 243-276.

CALORE, R. A.; FERREIRA, M. C.; RODRIGUES, N. E. L.; OTUKA, A. K. Distribution pattern, surface tension and contact angle of herbicides associated to adjuvants on spraying and control of *Ipomea hederifolia* under rainfall incidence. *Engenharia Agrícola*, v. 35, n. 4, p. 756-768, 2015.

CARVALHO, F. K.; CHECHETTO, R. G.; MOTA, A. A. B.; ANTUNIASSI, U. R. Entendendo a Tecnologia de Aplicação: Caldas Fitossanitárias e descontaminação de pulverizadores. 2. ed. Botucatu: Fepaf, 2022.

CESSA, R. M. A.; HONAISSER, A. C.; MELO, E. P.; LIMA JUNIOR, I. S. Dessecação de *Brachiaria decumbens*: ordem de preparo e constituintes da calda de pulverização. *Rev Ciênc Exatas Terra UNIGRAN*, v. 2, n. 1, p. 33-40, 2013.

CHAIM, A.; NETO, J. C.; PESSOA, M. C. P. Y. Uso do programa computacional Gotas para avaliação da deposição de pulverização aérea sob diferentes condições climáticas. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento* 39, 23 p.

COLBY, S. R. Calculating Synergistic and Antagonistic Responses of Herbicides Combinations. *Weeds*, v. 15, n. 1, p. 20-22, 1967

COSTA, A. G. F.; VELINI, E. D.; ROSSI, C. V. S.; CORRÊA, M. R.; NEGRISOLI, E.; FIORINI, M. V.; et al. Adjuvantes na deriva de 2,4-D + glyphosate em condições de campo. *Ciência Rural*, v. 44, n. 3, p. 387-392, 2014.

COSTA, L. L.; BOTELHO, A. P.; COSTA, T. R.; LOPES, I. O.; PEREIRA, T. A. Caracterização da aplicação com diferentes inseticidas e pontas de pulverização na cultura da soja. *Revista de Engenharia Agrícola*, v. 25, n. 2, p. 116-123, 2017.

COSTA, L. L.; DA SILVA, H. J. P. S.; ALMEIDA, D. P.; FERREIRA, M. C.; PONTES, N. C. Droplet spectra and surface tension of spray solutions by biological insecticide and adjuvants. *Engenharia Agrícola*, v. 37, n. 2, p. 292-301, 2017.

DE SCHAMPHELEIRE, M.; NUYTTENS, D.; BAETENS, K.; CORNELIS, W.; GABRIËLS, D.; SPANOGHE, P. Effects on pesticide spray drift of the physicochemical properties of the spray liquid. *Precis Agric*, v. 10, n. 5, p. 409-420, 2009.

EMBRAPA. Plantas daninhas: interferência e controle. Portal Embrapa, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-plantas-daninhas>. Acesso em: 25 ago. 2024

ETHERIDGE, R. E.; BYRD JR, J. D.; JHALA, A. J.; BOND, J. A. Characterization of the spray droplet spectra and patterns of four venturi-type drift reduction nozzles. *Weed Technol.*, v. 13, n. 4, p. 765-770, 1999.

FERREIRA, M. C.; LASMAR, O.; DECARO JUNIOR, S. T.; NEVES, S. S. Qualidade da aplicação de inseticida em amendoim (*Arachis hypogaea* L.), com e sem adjuvantes na calda, sob chuva simulada. *Bioscience Journal*, v. 29, n. 1, p. 1431-1440, 2013.

FENG, P. C. C.; CHIU, T.; SAMMONS, R. D.; RYERSE, J. S. Droplet size affects glyphosate retention, absorption, and translocation in corn. *Weed Sci.*, v. 51, n. 3, p. 443-448, 2003. doi: 10.1614/0043-1745(2003)051[0443]2.0.CO;2.

FORTE, C. T.; AGOSTINETTO, D.; DAL MAGRO, T.; FONTANA, L. C.; SANTOS, L. S. Habilidade competitiva de cultivares de soja transgênica convivendo com plantas daninhas. *Revista Brasileira Ciências Agrárias*, v. 12, n. 2, p. 185-193, 2017.

FRANS, R. Experimental design and techniques for measuring and analyzing plant responses to weed control practices. In: CAMPER, N. D. (Ed.). *Research methods in weed science*. 3. ed. USA: Southern Weed Science Society, 1986. p. 29-46.

FLUTTERT, J. C.; SOLTANI, D.; GALLA, M.; HOOKER, D. C.; ROBINSON, D. E.; SIKKEMA, P. H. Interaction between 4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase-inhibiting and reactive oxygen species-generating herbicides for the control of annual weed species in corn. *Weed Science*, v. 70, p. 423-435, 2022. doi: 10.1017/wsc.2022.23.

GALON, L. Controle de plantas daninhas na cultura da canola com diferentes herbicidas. *Weed Control Journal*, v. 1, p. 02100011, 2021.

GODINHO JR, J. D.; VIEIRA, L. C.; RUAS, R. A. A.; CARVALHO FILHO, A.; FARIA, V. R.; GOD, P. I. V. G. Spray nozzles, working pressures and use of adjuvant in reduction of 2,4-D herbicide spray drift. *Planta Daninha*, v. 38, 2020. doi: 10.1590/S0100-83582020380100070.

GRZANKA, M.; SOBIECH, L.; IDZIAK, R.; SKRZYPEK, G. Effect of the Time of Herbicide Application and the Properties of the Spray Solution on the Efficacy of Weed Control in Maize (*Zea mays* L.) Cultivation. *Agriculture*, v. 12, n. 3, p. 353, 2022. doi: 10.3390/agriculture12030353.

HEAP, I. Herbicide Resistant Hairy Fleabane Globally (*Conyza bonariensis*), 2019. Disponível em: <http://www.weedscience.org/Summary/Species.aspx>. Acesso em: 25 ago. 2024.

HEAP, I. The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. 2022. Disponível em: <http://www.weedscience.org>. Acesso em: 25 ago. 2024.

KOGER, C. H.; REDDY, K. N. Role of absorption and translocation in the mechanism of glyphosate resistance in horseweed (*Conyza canadensis*). *Weed Science*, v. 53, p. 84-89, 2005.

MARTINS, J. F. S.; SILVA, A. A.; FERREIRA, L. R.; SANTOS, J. B.; FERREIRA, F. A. Impactos das plantas daninhas nas culturas agrícolas e seus métodos de controle. *Revista Brasileira de Herbicidas*, v. 21, n. 3, p. 567-576, 2022.

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

LAMEGO, F. P.; VIDAL, R. A.; MONDO, V. H. V.; DEUNER, C. C.; CAMARGO, E. R.; DA SILVA, P. R. Competitive ability of wheat cultivars against weeds. *Planta Daninha*, v. 31, n. 3, p. 521-531, 2013.

LUCIO, F. R.; et al. Dispersal and frequency of glyphosate-resistant and glyphosate-tolerant weeds in soybean-producing edaphoclimatic microregions in Brazil. *Weed Technol.*, v. 33, p. 217-231, 2019.

LUVEZUTI, R. A. Eficácia de herbicidas no controle de plantas daninhas e seletividade na cultura do amendoim Runner IAC 886. *Revista Brasileira de Herbicidas*, v. 13, n. 3, p. 207-215, 2014.

MELO, J. A. de. Tecnologias de aplicação de agrotóxicos. *Revista Ceres*, v. 66, n. 5, p. 281-292, 2019.

MENDONÇA, C.; VELINI, E. D.; MARTINS, D. Efeito de surfactantes sobre a tensão superficial e a área de molhamento de soluções de glyphosate sobre folhas de tiririca. *Planta Daninha*, v. 17, n. 3, p. 355-365, 1999.

MENDONÇA, C. G.; GOMES, G. L. G. C.; ALVES, G. S.; DE SÁ, M. E.; SILVA, W. R. Volume de espuma e estabilidade de emulsões aquosas com óleos minerais e óleos vegetais. In: *Anais do III Simpósio Internacional de Tecnologia de Aplicação de Agrotóxicos*

NEPOMUCENO, M. P.; ALVES, P. L. C. A.; DIAS, T. C. S.; PAVANI, M. C. M. D. Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura da soja nos sistemas de semeadura direta e convencional. *Planta Daninha*, v. 25, n. 1, p. 43-50, 2007.

OWEN, M. D. K. Diverse approaches to herbicide-resistant weed management. *Weed Science*, v. 64, n. S1, p. 570-584, 2016.

POLLI, E. G.; ALVES, G. S.; MORAES, J. G.; KRUGER, G. R. Influence of surfactant-humectant adjuvants on physical properties, droplet size, and efficacy of glufosinate formulations. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 2021.

SALAZAR-LÓPEZ, N. J.; MADRID, M. L. A. Herbicida glifosato: usos, toxicidad y regulación. *BIOTecnia*, v. 13, n. 2, p. 23-28, 2011.

SILVA, K. S. Imazetapir: o herbicida que foi da coxilha para a várzea. *WeedOut*, 2021. Disponível em: <https://weedout.com.br/imazetapir/>.

TEIXEIRA NETO, É.; MALTA, M. M.; SANTOS, R. G. Medidas de tensão superficial pelo método de contagem de gotas: descrição do método e experimentos com tensoativos não-iônicos etoxilados. *Química Nova*, v. 32, n. 1, 2009. doi:10.1590/S0100-40422009000100037.

KISSMANN, Luiz Antonio de Souza; CANTARELLA, Heitor. *Adjuvantes para Produtos Fitossanitários*. 2. ed. São Paulo: Editora Agronômica, 2020. VARGAS, L.; ROMAN, E. S. *Conceitos e aplicações dos adjuvantes*. Porto Alegre: HRAC-BR, 2006.

YAMADA, T.; CASTRO, P. R. C. Efeitos do glifosato nas plantas: implicações fisiológicas e agronômicas. *Informações Agronômicas*, n. 119, set. 2007. Disponível em: .

WEBSTER, T. M.; SOSNOSKIE, L. M. Loss of glyphosate efficacy: a changing weed spectrum in Georgia cotton. *Weed Science*, v. 58, n. 1, p. 73-79, 2010.