

ALEXSANDRO DA SILVA SOARES

**EFEITOS DE ADJUVANTES NAS CARACTERÍSTICAS DA CALDA, ESPECTRO
DE GOTAS, TRANSPOSIÇÃO E EFICÁCIA DOS HERBICIDAS AMICARBAZONE,
SULFENTRAZONE E INDAZIFLAM NA PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Botucatu

2023

ALEXSANDRO DA SILVA SOARES

**EFEITOS DE ADJUVANTES NAS CARACTERÍSTICAS DA CALDA, ESPECTRO
DE GOTAS, TRANSPOSIÇÃO E EFICÁCIA DOS HERBICIDAS AMICARBAZONE,
SULFENTRAZONE E INDAZIFLAM NA PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR**

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

Orientador: Prof. Dr. Caio Antonio
Carbonari

Coorientador: Prof. Dr. Edivaldo
Domingues Velini

Botucatu

2023

S676e	Soares, Alexsandro da Silva Efeitos de adjuvantes nas características da calda, espectro de gotas, transposição e eficácia dos herbicidas amicarbazone, sulfentrazone e indaziflam na palha de cana-de-açúcar / Alexsandro da Silva Soares. -- Botucatu, 2023 162 p. : il., tabs., fotos Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu Orientador: Caio Antonio Carbonari Coorientador: Edivaldo Domingues Velini 1. Cana-de-açúcar. 2. Cobertura morta. 3. Herbicidas. 4. Planta daninha. 5. Tecnologia de aplicação. I. Título.
-------	---

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

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: EFEITOS DE ADJUVANTES NAS CARACTERÍSTICAS DA CALDA, ESPECTRO DE GOTAS, TRANSPOSIÇÃO E EFICÁCIA DOS HERBICIDAS AMICARBAZONE, SULFENTRAZONE E INDAZIFLAM NA PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR

AUTOR: ALEXSANDRO DA SILVA SOARES

ORIENTADOR: CAIO ANTONIO CARBONARI

COORIENTADOR: EDIVALDO DOMINGUES VELINI

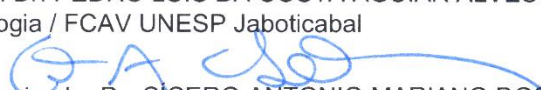
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Agronomia (Agricultura), pela Comissão Examinadora:



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



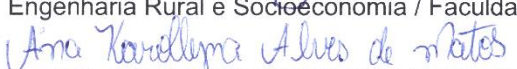
Prof. Dr. PEDRO LUÍS DA COSTA AGUIAR ALVES (Participação Virtual)
Biologia / FCAV UNESP Jaboticabal



Pesquisador Dr. CICERO ANTONIO MARIANO DOS SANTOS (Participação Virtual)
Tecnologia de Aplicação / GMC Alvo Consultoria Agrícola



Prof. Dr. ULISSES ROCHA ANTUNASSI (Participação Presencial)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu UNESP



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

Botucatu, 17 de fevereiro de 2023

À minha amada família,

Josefa, Orlando,

Suzane, Alexandre,

José, Pedro e Flávio,

dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ser esse pai todo poderoso, me direcionando e estando presente em todos em lugares me protegendo e sustentando para que eu continuasse firme, e proporcionando forças e sabedorias para a concretização deste sonho. Já que existem dias fáceis e dias difíceis na vida, Deus concede isso para nos fortalecer e nos ensinar a valorizar cada uma das pequenas coisas que temos e conquistamos com garra, esperança, e acima de tudo, com muita fé. Obrigado, meu Pai onipresente, pelo dom da vida e perspectivas de sempre existir novos sonhos, como este.

À minha família, Josefa Firmino da Silva e José Orlando Andrade Soares (meus pais), Suzane Patrícia da Silva Santos e Alexandre Washington da Silva Soares (meus irmãos), José Wenderson da Silva Santos e Pedro Warley da Silva Santos (meus sobrinhos) e Flávio da Silva Santos (meu cunhado). Se fui capaz de chegar até aqui foi graças a essas pessoas que sempre estiveram ao meu lado, me ajudando, apoiando, incentivando e insistindo na importância de não me deixarem desistir, quando eu acreditava não ter mais forças. Este trabalho é prova do amor e da proteção incondicional de vocês, além do discernimento, da paciência e por todas as orações que me proporcionaram. Indubitavelmente não chegaria onde estou sem a existência de vocês, que sempre foram a base firme na minha vida, nos meus estudos e nos meus sonhos. Serei eternamente grato a Deus, pela família que me destes!

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Agricultura), da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) Campus de Botucatu, em especial ao ex-coordenador do Programa, Prof. Dr. Edvaldo Aparecido Amaral da Silva pela oportunidade de ingresso no curso de doutorado e pelas palavras de incentivo encorajador. E a atual coordenadora do Programa, Prof.^a. Dr.^a Maria Márcia Pereira Sartori pela compreensão e oportunidade de prorrogação da bolsa de estudos para a permanência no curso através do auxílio estudantil. MUITÍSSIMO obrigado a esses coordenadores pela compreensão dos entraves para a efetivação deste sonho.

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

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Caio Antonio Carbonari e Prof. Dr. Edivaldo Domingues Velini, pelos ensinamentos, orientações, apoio, confiança, compreensão, paciência e principalmente e pela amizade. Meu sonho se tornou realidade a partir do momento que esses profissionais abriram as portas dos seus locais de trabalho, locus de grandes pensamentos e ideias, criatividade e inovações, para que eu pudesse desempenhar a minha pesquisa e, conseqüentemente, aprender um pouco das suas técnicas, experiências e parcerias de trabalho. Muito obrigado, professores, por tudo.

Aos meus colegas de trabalho, integrantes do Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia (NUPAM), minha segunda casa na cidade de Botucatu, pela parceria e sucesso do grupo. Além de um agradecimento especial a Dr.^a Ana Karollyna Alves de Matos, pelos ensinamentos, assistência e companheirismo de trabalho, muitíssimo obrigado, minha “orientadora” (risos). Também agradeço a Dr.^a Ivana Paula Ferraz Santos de Brito e aos Técnicos José Guilherme Ferreira Cordeiro, José Roberto Marques Silva e Luís Marcelo Siono, pelo suporte acadêmico no desenvolvimento dos experimentos. Em vista disso, posso afirmar que, são em várias mãos agregadas a muitas ideias que se faz um verdadeiro grupo de trabalho. Agradeço a todos os membros do grupo NUPAM que dedicaram o seu carinho, a sua inteligência e a sua energia nesse espaço de trabalho, para a colaboração e êxito desta pesquisa.

Ao meu orientador do Mestrado, Prof. Dr. Marcelo da Costa Ferreira, por quem tenho inestimável consideração e respeito, que disponibilizou o seu espaço de trabalho, o Núcleo de Estudos e Desenvolvimento em Tecnologia de Aplicação (NEDTA), da UNESP Campus de Jaboticabal, para o desenvolvimento de grande parcela deste estudo. Muito obrigado e gratidão pela parceria de trabalho, professor! Inclusivamente, agradeço aos pesquisadores e integrantes do NEDTA, a Eng.^a Agr.^a Ana Beatriz Dilella Spadoni e ao Dr. Pedro Henrique Urach Ferreira, pela assistência no desenvolvimento dos experimentos e análises. Além de um agradecimento especial a minha grande amiga Eng.^a Agr.^a Gabriela Pelegrini pelo auxílio nas análises e contribuições nas traduções do manuscrito deste trabalho. Posto isto, é importante enfatizar que um grande trabalho nunca é feito por uma única pessoa, e sim pela união de pensamentos, ideias e suporte de várias partes e grupos. Meus sinceros agradecimentos a cada membro desta equipe.

Aos membros da banca do Exame Geral de Qualificação, o Prof. Dr. Ulisses Rocha Antuniassi e a Dr.^a Ana Karollyna Alves de Matos que, obsequiosamente, aceitaram participar da avaliação e contribuíram de forma significativa nas perspectivas para um melhor direcionamento e ideias para o desenvolvimento deste trabalho. Mais adiante, também estiveram presentes na banca de defesa do doutorado, juntamente, com os meus grandes amigos, o Prof. Dr. Pedro Luís da Costa Aguiar Alves e o Dr. Cícero Antônio Mariano dos Santos, muito obrigado a todos por estarem presentes nesses momentos e muitíssimo obrigado pelas palavras motivadoras de incentivo e pelas contribuições para a melhoria e conquista deste trabalho.

Aos meus amigos que se propuseram a colaborar com as análises de campo e laboratório, além das coletas de dados, Claudio Yoshito Yamaji, Maria Carvalho, Thatiane Nepomuceno Alves, Joseantonio Ribeiro de Carvalho e Lucas Camargo. Além da honra da assistência dos meus sobrinhos amados, José Wenderson da Silva Santos e Pedro Warley da Silva Santos. Foram muitos desafios, mas a grandeza desses apoios fez a diferença, tal como escreveu Charles Darwin, dizia: “Não interessa o tamanho do desafio, o que importa é a grandeza da união! Na longa história da humanidade, aqueles que aprenderam a colaborar e improvisar mais efetivamente têm prevalecido.” Muito obrigado a todos, pela colaboração e companheirismo.

À família Krizozum, Sr. Leonardo Moreira Krizozum, Sra. Ana Paula Domingues dos Santos, Rodrigo dos Santos Krizozum e Gabriel dos Santos Krizozum, pela acolhida em sua casa, pela amizade, pelo carinho e amor que passaram nos momentos de refúgio das dores, do medo, preocupações e pela paz que transmitiam em seus abraços. Especialmente ao Rodrigo que concedeu a sua morada e esteve ao meu lado nas horas que chorei e nas horas que sorri. Só de pensar em vocês meu coração transborda de amor e gratidão. Em razão de que fui muito abençoado em seus lares cercado por pessoas maravilhosas, e por serem a minha segunda família, sempre farão parte da minha vida e da minha história. Obrigado por tudo, família Krizozum!

Aos meus amigos, Eduardo Rodrigues (Edu), Rosângela Lima (Rô), José Bonifácio (Boni), Karolina Coutinho (Karol) e Maiqui Izidoro, que ao longo desses quase 4 anos fizeram a minha alegria na cidade de Botucatu, por todo apoio e carinho. E assim

espero que continuemos sempre, em qualquer lugar que estivermos, juntos nesta e nas próximas vidas. Obrigado, amigos!

Ao meu amigo Juliano Rafael de Araújo que sempre esteve ao meu lado, desde o primeiro dia de mudança do estado do Pará para São Paulo, me ajudando, aconselhando e acolhendo em sua casa. E ao meu querido Charles José Crepalde que, posteriormente, chegou e abrilhantou ainda mais as nossas vidas. Muito obrigado pelas suas amizades, amo muito vocês!

Á minha amiga Edileusa Ramos de Melo, muito mais que amiga, mas uma integrante da família. Agradeço imensamente pelo companheirismo desde a minha infância, pelas palavras de incentivo e encorajamento, por me fazer levantar a cabeça e insistir que desistir não é a solução. Apesar da distância e por mais que o tempo passe e que as dificuldades estejam presentes, eu sempre estarei firme e forte, porque sei que posso contar com o seu apoio, uma amiga que certamente foi um presente de Deus na minha vida e na vida da minha família. Muito obrigado por acreditar, sempre, no meu potencial e capacidade de ver o mundo de uma forma mais bonita e feliz, através das realizações dos meus sonhos. Te adoro, Dida!

Á minha amiga Rejane dos Santos Souza, por abrir as portas da sua casa e mostrar a palavra de Deus, muito antes do meu ingresso no curso de Agronomia, e persistir que sem ele nada teria sentido nessa vida, por me encorajar e me abraçar quando eu preciso de forças e orações. Agradeço imensamente pela sua amizade, pelo apoio e todo amor que tem comigo e com a minha família. Muito obrigado, Jane!

Á minha amiga querida, Prof.^a Dr.^a Célia Maria Costa Guimarães, pela contribuição desde a graduação. A profissional que esteve ao meu lado e insistiu que eu seria capaz de ir longe. Gratidão, pois sempre que eu alcançar qualquer objetivo, como este, lembrarei das suas palavras e em tudo que você me ensinou com orgulho e amor, pois você colaborou e ajudou a me transformar na pessoa que sou hoje. Muito obrigado, professora!

Àqueles, enfim, que não estão descritos aqui, mas contribuíram de alguma forma com apoio, amizade, palavras de incentivo, forças e energias boas para que eu pudesse conduzir a vida em busca da realização deste sonho.

“Acima de nós, apenas o céu”

LENNON, John. **Imagine**. Ascot, Berkshire, Inglaterra: Capitol Records: 1971.

RESUMO

O sistema de cana crua obtém grande acúmulo de resíduos e palhada, utilizada como barreira física, que influenciam o manejo de plantas daninhas. Todavia, podem modificar o comportamento dos herbicidas nas aplicações. Em vista disso, o trabalho avaliou o comportamento de caldas fitossanitárias de herbicidas na palha da cana-de-açúcar, para o controle de *Brachiaria decumbens* e *Ipomoea grandifolia*. Os experimentos foram conduzidos em misturas, com 12 tratamentos e 04 repetições (herbicidas: sulfentrazone, amicarbazone e indaziflam; adjuvantes: Assist, Agral e Silwet), submetidos a avaliações de estabilidade e compatibilidade física das caldas. Foram observados os efeitos das interações entre os produtos quanto a homogeneidade e heterogeneidade, além das avaliações de condutividade elétrica. Para analisar a formação e espalhamento das gotas, foram realizados estudos de tensão superficial e ângulo de contato. Já para o tamanho das gotas, foram realizados estudos do diâmetro das partículas através de difração de raios laser. Foram realizados experimentos para avaliar o efeito da palha da cana-de-açúcar (10 t ha⁻¹) e o comportamento destes produtos sobre a cobertura morta na ocorrência de chuva (20 mm). A água que atravessou a palha foi coletada, depois da lâmina de chuva, e a concentração dos herbicidas foi determinado por um sistema de cromatografia e espectrometria de massas. Essas análises foram realizadas com quatro repetições e em delineamento inteiramente casualizado. Os experimentos de controle foram realizados através das aplicações das caldas fitossanitárias sobre os vasos contendo palha e sementes de plantas daninhas de *B. decumbens* e *I. grandifolia*. Posteriormente, os tratamentos receberam chuva. Após as aplicações, os vasos foram conduzidos para casa de vegetação, onde foram submetidos a análises de controle visual. Por último, a parte aérea das plantas daninhas emergidas foram coletadas e levadas para secagem em estufa, para aquisição dos dados de matéria seca. Embora tenham sido identificadas alterações nas qualidades físico-químicas das caldas, esses efeitos foram compatíveis nas misturas e não interferiam na qualidade das aplicações, nos horários avaliados. Logo, a ação de adjuvantes modificou os comportamentos de formação e espalhamento dos produtos, mas não interferiram na comparação dos diferentes herbicidas. Além da diferenciação da porcentagem do tamanho e volume das partículas e amplitude de dispersão de gotas. O controle das plantas daninhas, visualmente, foi satisfatório em concordância com os valores atribuídos de massa

seca. Esse efeito de mortalidade das plantas daninhas foi otimizado em consequência do alcance da passagem dos produtos pela palha da cana-de-açúcar, através da aplicação da lâmina de chuva após as aplicações das caldas fitossanitárias.

Palavras-chave: controle; herbicida; palha; planta daninha; tecnologia de aplicação.

ABSTRACT

The raw sugarcane system obtains a large accumulation of residues and straw, used as a physical barrier, which influence weeds management. However, they can modify the herbicides behavior in applications. In view of this, the work evaluated the behavior phytosanitary herbicide behavior mixtures on sugarcane straw, for the control of *Brachiaria decumbens* and *Ipomoea grandifolia*. The experiments were carried out in mixtures, with 12 treatments and 04 repetitions (herbicides: sulfentrazone, amicarbazone and indaziflam; adjuvants: Assist, Agral and Silwet), submitted to evaluations of stability and physical compatibility of the mixtures. The effects of interactions between products were observed regarding homogeneity and heterogeneity, in addition to electrical conductivity evaluations. The drop formation and spreading analysis were carried out with studies of surface tension and contact angle. As for the size of drops, studies of particles diameter were carried out using laser diffraction. Experiments were carried out to evaluate the effect of sugarcane straw (10 t ha⁻¹) and the behavior of these products on mulch in the event of rain (20 mm). The water that passed through the straw was collected, after rainfall, and the herbicides concentration has been determined by a chromatography and mass spectrometry system. These analyzes were performed with four replications and in a completely randomized design. The control experiments were carried out through the phytosanitary mixtures application on vases containing straw and weed seeds of *B. decumbens* and *I. grandifolia*. Subsequently, the treatments received rain. After the applications, the vases were taken to a greenhouse, where they were subjected to visual control analyses. Lastly, the emerged weeds shoots were collected and dried in an oven for acquisition of dry matter data. Although alterations were identified in the physicochemical qualities of the tank-mixture, these effects were compatible in the mixtures and did not interfere in the quality of the applications, at the evaluated times. Therefore, the adjuvants action modified the formation and spreading products behavior but did not interfere in comparison of the different herbicides. In addition to differentiating the percentage of particle size and volume and droplet dispersion amplitude. Weed control, visually, was satisfactory in agreement with the assigned values of dry mass. This weed mortality effect was optimized as a result of the range of passage of the products through the sugarcane straw, through the application of rainfall after the phytosanitary mixtures application.

Keywords: control; herbicide; straw; weed; application technology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Líquidos em estabilidade sobre superfície sólida (palha da cana-de-açúcar). A - Água residual, B - Calda fitossanitária contendo espalhante adesivo.....	57
Figura 2 – Ilustração da estabilidade de calda dos tratamentos analisados.....	67
Figura 3 – Condutivímetro utilizado nas análises dos produtos (A). Leitura físico-química das caldas (B).....	68
Figura 4 – Equipamento tensiômetro utilizado nas avaliações de tensão superficial e o ângulo de contato das gotas.....	69
Figura 5 – Tensão superficial e análise de formação de gotas com a utilização do equipamento tensiômetro (A). Imagem capturada através do método de gota pendente, pelo software SCA20® (B).....	69
Figura 6 – Análise de espalhamento de gotas com a utilização do equipamento tensiômetro (A). Imagem capturada do ângulo de contato do produto com a superfície de palha da cana-de-açúcar, pelo software SCA20® (B)	70
Figura 7 – Difrator de raios laser para determinação do tamanho de partículas suspensas no ar.....	71
Figura 8 – Unidades experimentais utilizadas para as aplicações. Ilustrações das cápsulas preparadas para as aplicações das caldas fitossanitárias (A) e para a aplicação da lâmina de chuva (C).....	73
Figura 9 – Pulverizador estacionário com as unidades experimentais no momento da aplicação. A – aplicação das caldas fitossanitárias, B – aplicação da lâmina de chuva (20 mm).....	74
Figura 10 – Determinação das massas das soluções que passaram pela palha. A – pesagem dos tubos vazios, B – pesagem dos tubos cheios.....	76

Figura 11 – Soluções para o preparo das amostras para quantificação dos herbicidas por cromatografia líquida de alta performance (HPLC) e espectrometria de massas. A - solução que passou pela palha, B - solução diluída 10 vezes.....	77
Figura 12 – Cromatógrafo líquido (Proeminence UFLC) acoplado ao espectrômetro de massas (Triple Quad 4500) – LC-S/MS.....	78
Figura 13 – Cromatograma obtido para o herbicida sulfentrazone e os respectivos fragmentos na concentração de 50 µg L ⁻¹	80
Figura 14 – Cromatograma obtido para o herbicida amicarbazone e os respectivos fragmentos na concentração de 50 µg L ⁻¹	81
Figura 15 – Cromatograma obtido para o herbicida indaziflam e os respectivos fragmentos na concentração de 50 µg L ⁻¹	81
Figura 16 – Pulverizador estacionário com as unidades experimentais no momento da aplicação das caldas fitossanitárias.....	84
Figura 17 – Pulverizador estacionário com as unidades experimentais no momento da aplicação da lâmina de chuva (20 mm)	85
Figura 18 – Distribuição dos vasos em casa de vegetação, após as aplicações das caldas fitossanitárias e lâmina de chuva (20 mm).....	86
Figura 19 – Valores da condutividade elétrica dos tratamentos referente ao herbicida sulfentrazone, nos tempos analisados (0h, 2h, 6h e 24h).....	90
Figura 20 – Valores da condutividade elétrica dos tratamentos referente ao herbicida amicarbazone, nos tempos analisados (0h, 2h, 6h e 24h).....	91
Figura 21 – Valores da condutividade elétrica (CE) dos tratamentos referente ao herbicida indaziflam, nos tempos analisados (0h, 2h, 6h e 24h).....	91

Figura 22 – Efeito das interações das caldas fitossanitárias. A - sedimentação, B - formação de cristais, C - creme, D – espuma.....	94
Figura 23 – QR Code, para transmissão visual, do espalhamento de gota de uma solução contendo o adjuvante surfactante Silwet na palha.....	99
Figura 24 – Tensão superficial da calda fitossanitária contendo o adjuvante surfactante Silwet, na palha da cana-de-açúcar.....	100
Figura 25 – Tensão superficial do herbicida sulfentrazone e percentual de formação de gota com relação ao herbicida de forma isolada ao longo de 1, 5, 10, 20, 40 e 60 segundos de análises.....	101
Figura 26 – Tensão superficial do herbicida amicarbazone e percentual de formação de gota com relação ao herbicida de forma isolada ao longo de 1, 5, 10, 20, 40 e 60 segundos de análises.....	102
Figura 27 – Tensão superficial do herbicida indaziflam e percentual de formação de gota com relação ao herbicida de forma isolada ao longo de 1, 5, 10, 20, 40 e 60 segundos de análises.....	103
Figura 28 – Imagens capturadas pelo método de gota pendente da tensão superficial, analisadas pelo equipamento tensiômetro (Contact Angle System OCA 15-Plus (Dataphysics®), aos 10 segundos de leitura de formação da gota.....	104
Figura 29 – Imagens do ângulo de contato, analisadas pelo equipamento tensiômetro (Contact Angle System OCA 15-Plus (Dataphysics®), aos 10 segundos de leitura do espalhamento de gota na superfície de palha da cana-de-açúcar.....	105
Figura 30 – Ângulo de contato das caldas fitossanitárias do herbicida sulfentrazone e percentual de espalhamento de gota na superfície da palha da cana-de-açúcar, com relação ao herbicida de forma isolada e a testemunha ao longo de 1, 5, 10, 20, 40 e 60 segundos de análises.....	107

Figura 31 – Ângulo de contato das caldas fitossanitárias do herbicida amicarbazone e percentual de espalhamento de gota na superfície da palha da cana-de-açúcar, com relação ao herbicida de forma isolada e a testemunha ao longo de 1, 5, 10, 20, 40 e 60 segundos de análises.....	108
Figura 32 – Ângulo de contato das caldas fitossanitárias do herbicida indaziflam e percentual de espalhamento de gota na superfície da palha da cana-de-açúcar, com relação ao herbicida de forma isolada e a testemunha ao longo de 1, 5, 10, 20, 40 e 60 segundos de análises.....	109
Figura 33 – Comparação das médias de porcentagem do volume de gotas com tamanho inferior a 100 µm.....	110
Figura 34 – Comparação dos valores médios de DMV, através do método de difração de raios laser.....	112
Figura 35 – Comparação dos valores médios do coeficiente de uniformidade (Span).....	113
Figura 36 – Quantidade da solução do herbicida sulfentrazone que passou pela palha / cápsula (µg).....	115
Figura 37 – Quantidade da solução do herbicida amicarbazone que passou pela palha / cápsula (µg).....	116
Figura 38 – Quantidade da solução do herbicida indaziflam que passou pela palha / cápsula (µg).....	117
Figura 39 – Percentual do controle de <i>Brachiaria decumbens</i> aos 7, 14, 21 e 28 dias após aplicação (DAA) de herbicidas, aplicados sobre a palha da cana-de-açúcar (10 t ha ⁻¹) e lâmina de chuva (20 mm, 1 DAA).....	119

Figura 40 – Percentual do controle de <i>Ipomoea grandifolia</i> aos 7, 14, 21 e 28 dias após aplicação (DAA) de herbicidas, aplicados sobre a palha da cana-de-açúcar (10 t ha ⁻¹) e lâmina de chuva (20 mm, 1 DAA).....	121
Figura 41 – Percentual do controle de <i>Brachiaria decumbens</i> aos 7, 14, 21 e 28 dias após aplicação (DAA) de herbicidas, aplicados sobre o solo nu (sem a presença de palhada) e lâmina de chuva (20 mm, 1 DAA).....	123
Figura 42 – Percentual do controle de <i>Ipomoea grandifolia</i> aos 7, 14, 21 e 28 dias após aplicação (DAA) de herbicidas aplicados sobre o solo nu (sem a presença de palhada) e lâmina de chuva (20 mm, 1 DAA).....	125

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características físico-químicas dos herbicidas sulfentrazone, amicarbazone e indaziflam.....	50
Tabela 2 – Composição dos produtos utilizados nas análises dos experimentos.....	66
Tabela 3 – Condições cromatográficas utilizadas para quantificação dos produtos.....	79
Tabela 4 – Massa molecular, íons secundários e tempo de retenção na coluna dos compostos analisados.....	80
Tabela 5 – Escala de avaliação visual proposta pela Asociación Latinoamericana de Malezas.....	87
Tabela 6 – Características físico-química de caldas do herbicida sulfentrazone.....	95
Tabela 7 – Características físico-química de caldas do herbicida amicarbazone.....	96
Tabela 8 – Características físico-química de caldas do herbicida indaziflam.....	97
Tabela 9 – Tensão superficial (mN m^{-1}) e ângulo de contato em função dos tratamentos, aos cinco segundos de espalhamento e formação de gota.....	98
Tabela 10 – Determinação da massa seca das plantas daninhas de <i>Brachiaria decumbens</i> e <i>Ipomoea grandifolia</i> ao final do ensaio (28 DAA) com relação a testemunha, nas aplicações fitossanitárias na presença e ausência da palha da cana-de-açúcar (10 t ha^{-1}) acrescentadas de aplicação de lâmina de chuva (20 mm, 1 DAA).....	128

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGR	AGRAL - Adjuvante - espalhante adesivo
ALAM	Asociación Latinoamericana de Malezas
AMI	Herbicida amicarbazone
ASS	ASSIST - Adjuvante - óleo mineral
CE	Condutividade elétrica
CV	Coeficiente de variação
DAA	Dia após a aplicação
DDT	Diclorodifeniltricloroetano
DMS	Diferença mínima significativa
DMV	Diâmetro mediano volumétrico
IND	Herbicida indaziflam
MO	Matéria orgânica
P	Pressão de vapor
S	Solubilidade em água
SIL	SILWET - Adjuvante – surfactante/organosilicone
Span	Coeficiente de uniformidade
SUL	Herbicida sulfentrazone

LISTA DE SÍMBOLOS

%	porcentagem
g	grama
g e. a. ha ⁻¹	gramas de equivalente ácido por hectare
kg ha ⁻¹	quilos por hectare
kgf cm ⁻¹	quilograma força por centímetro
kgf cm ⁻²	quilograma força por centímetro quadrado
km h ⁻¹	Quilômetro por hora
Koc	coeficiente de partição para o teor de carbono orgânico
Kow	coeficiente de partição octanol-água
kPa	quilo pascal
L	litro
L ha ⁻¹	litro por hectare
L p.c. ha ⁻¹	litros de produto comercial por hectare
m	metro
m s ⁻¹	metros por segundo
m ²	metro quadrado
m ³	metro cúbico
min	minuto
mL	mililitro
mm	milímetro
mS/cm ²	miliSiemens por centímetro quadrado
Nm	newton por metro
°	graus
°C	grau Celsius
pH	Potencial hidrogeniônico
pKa	constante de equilíbrio de ionização ácido
t ha ⁻¹	toneladas por hectare
µg	micrograma
µg L ⁻¹	micrograma por litro
µm	micrômetro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	33
2	REVISÃO DE LITERATURA	35
2.1	Interferência de plantas daninhas na cana-de-açúcar	35
2.1.1	<i>Ipomoea grandifolia</i>	40
2.1.2	<i>Brachiaria decumbens</i>	41
2.2	Efeito da palha da cana-de-açúcar no controle de plantas daninhas.....	42
2.3	Controle químico de plantas daninhas.....	45
2.3.1	Herbicida sulfentrazone.....	47
2.3.2	Herbicida amicarbazone	48
2.3.3	Herbicida indaziflam.....	49
2.4	Características físico-químicas das caldas de herbicidas	50
2.4.1	Condutividade elétrica	52
2.5	Efeitos de adjuvantes nas caldas fitossanitárias	52
2.5.1	Adjuvante Assist	53
2.5.2	Adjuvante Agral	54
2.5.3	Adjuvante Silwet.....	54
2.5.4	Tensão superficial.....	55
2.5.5	Ângulo de contato	56
2.6	Tecnologia de aplicação	58
2.7	Efeito da palha no comportamento das aplicações fitossanitárias	61
3	MATERIAL E MÉTODOS	65
3.1	Localização dos experimentos	65
3.2	Produtos utilizados nas análises	65

3.3	Estabilidade de calda	66
3.4	Avaliação da condutividade elétrica das caldas	67
3.5	Tensão superficial e ângulo de contato.....	68
3.6	Espectros do tamanho de gotas.....	71
3.7	Dinâmica de herbicidas na palha da cana-de-açúcar	73
3.8	Métodos analíticos para quantificação dos herbicidas	77
3.9	Controle de plantas daninhas.....	82
3.9.1	Condução experimental	82
3.9.2	Aplicação dos tratamentos	83
3.9.3	Caraterísticas do experimento e seus tratamentos	86
3.9.4	Avaliação de controle.....	87
3.9.5	Determinação da massa seca da parte aérea das plantas daninhas	87
3.9.6	Análise estatística.....	88
4	RESULTADOS	89
4.1	Análise de estabilidade de caldas dos tratamentos	89
4.1.1	Condutividade elétrica	89
4.1.3	Efeito de interações quanto a homogeneidade / heterogeneidade dos produtos	92
4.2	Tensão superficial e ângulo de contato.....	98
4.3	Caracterização do tamanho de gotas	109
4.4	Dinâmica de herbicidas na palha da cana-de-açúcar	114
4.5	Controle de plantas daninhas.....	118
4.5.1	Análise de controle.....	118
4.5.2	Determinação da massa seca da parte aérea das plantas daninhas	126
5	DISCUSSÃO.....	129
6	CONCLUSÕES.....	143

REFERÊNCIAS.....	145
------------------	-----

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui grande representatividade mundial na produção de cana-de-açúcar e o estado de São Paulo encontra-se como maior produtor, aproximadamente metade da produção nacional. O sucesso da produção é destaque pelas grandes indústrias sucroalcooleira, cogeração de energia elétrica, o açúcar e suas derivações.

O método de colheita da cana-de-açúcar, com a utilização da queima do canavial, passou a ser reestruturado e está sendo substituído pela colheita da cana-crua com a utilização da cobertura de palha sobre o solo. Em vista disso, a adoção desse método tem gerado modificações no cultivo da cana, nas propriedades do solo e, conseqüentemente, no manejo de plantas daninhas.

É importante frisar que esse método representa diminuição do impacto ambiental e redução nos custos de produção. Todavia, a palha das operações mecanizadas depositadas no solo pode influenciar as características químicas, físicas e biológicas dos solos, além de diminuir a amplitude térmica, aumentar o teor de água e matéria orgânica, reduzir a quantidade de luz no solo e influenciar no controle de plantas daninhas.

A estrutura na superfície do solo, formada pela camada de palha de cana-de-açúcar, passou a interferir na dinâmica dos herbicidas, que antes eram depositados diretamente no solo e que precisam vencer a barreira dessa cobertura vegetal. A palha pode interceptar, como também reter, as caldas fitossanitárias, atuando na redução da sua transposição da cobertura vegetal para a superfície do solo e comprometendo o controle das plantas daninhas.

Os sistemas de produções de cana-de-açúcar requerem altos recursos financeiros para o controle de plantas daninhas, e a maior parte desse orçamento é destinado aos herbicidas. Então, deve-se atentar que o uso desnecessário e inadequado de herbicidas possa causar uma pressão de seleção na comunidade de plantas. Por esse motivo, esses produtos estão vulneráveis a sofrer modificações, pois eles passam por diferentes etapas de armazenamento antes de serem utilizados no

campo, como: formação de grumos, dissociação da emulsão, formação de cristais e floculação.

O comportamento dos herbicidas é influenciado pela quantidade e distribuição de palha na área, visto que o efeito térmico da cobertura de palhada de cana-de-açúcar possui temperatura superior em comparação ao solo nu. Desse modo, após um herbicida ser aplicado sobre a palha, estes produtos tornam-se vulneráveis à volatilização e/ou fotólise, podendo não chegar até o solo e, como resultado, não alcançar as plantas daninhas e comprometer as aplicações.

Em vista disso, o grande desafio é preservar as características físico-químicas dos produtos aplicados nesse ambiente de palhada, já que algumas características definem o quanto do produto é interceptado pela palha, não atingir o solo que é o seu destino final, como: alta solubilidade em água. Em contrapartida, menores K_{ow} e pressão de vapor.

Nessa perspectiva, a interação dos herbicidas com a palha pode ser afetada pelas diferentes formulações e condições ambientais, mas podendo ser melhoradas com o auxílio de adjuvantes adicionados à calda e, intensificadas, com a ocorrência de chuvas. Esses produtos tendem a aumentar a atividade biológica do ingrediente ativo, melhorar a cobertura, adesão e penetração, influenciar na tensão superficial das soluções, podendo garantir o aumento da aderência, espalhamento / molhabilidade sobre as superfícies das aplicações.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito das aplicações fitossanitárias e o comportamento desses produtos sobre a cobertura de palha de cana-de-açúcar, no controle de plantas daninhas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Interferência de plantas daninhas na cana-de-açúcar

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) e, na safra 2022/23, foi responsável pela produção de 572,9 milhões de toneladas, processadas em área de aproximadamente 8,13 milhões de hectares, dando ênfase a importância do estado de São Paulo seguir como maior produtor nacional com 49,0 % (aproximadamente 4,0 milhões de hectares) da área total (CONAB, 2022).

A cultura da cana-de-açúcar é procedente do continente asiático e trazida pelos portugueses, surgiu no Brasil no século XVI. Essa cultura é originária da espécie *Saccharum officinarum* e, após o cruzamento com outras espécies proporcionaram híbridos que foram utilizados como variedades comerciais até o início do século XIX. Trata-se de uma gramínea com metabolismo C4, com grande capacidade na conversão de energia solar em energia química (BYRT *et al.*, 2011), além de metabolizar sólidos solúveis de hidratos de carbono, como: sacarose, glicose e frutose (COSTA *et al.*, 2021).

Além disso, a cultura da cana-de-açúcar destaca-se no país como uma das mais importantes na produção destinada para indústria sucroalcooleira e cogeração de energia elétrica, e dela obtém-se o açúcar e suas derivações como o álcool anidro e hidratado, a vinhaça, a levedura de cana, o bagaço, entre outros (FIESP-CIESP, 2001).

A produção da cana-de-açúcar depende de fatores para a manutenção do sucesso da cultura. Pitelli (1985) enfatizou que a cultura da cana-de-açúcar está sujeita a fatores bióticos e abióticos, os quais exercem interferência negativa no sistema produtivo. Os fatores bióticos são representados pelas comunidades de plantas daninhas, elas interferem competindo com a cana-de-açúcar por espaço, água, luz e nutrientes, além de atuar como hospedeiras de doenças e pragas da cultura, liberando no solo substâncias alelopáticas e comprometem o rendimento da colheita.

A intensidade de interferência entre as plantas cultivadas e as plantas daninhas está relacionada de fatores relacionados à comunidade infestante, como a composição específica, a sua densidade e distribuição. Em relação à cultura estão relacionados, o seu gênero, espécie ou cultivar, espaçamento entre sulcos e densidade de semeadura. Além disso, a época e duração do período de convivência, pois é modificado pelas condições edáficas, climáticas e pelos tratos culturais (BLANCO, 1972; PITELLI, 1985).

As plantas daninhas são espécies indesejáveis e agressivas, possuem adaptação facilitada no ambiente. Elas competem com as culturas (FAY; DUKE, 1977). Ademais, afetam de forma direta ou indireta o crescimento e desenvolvimento das culturas, podendo atuar como hospedeiras de pragas e doenças (PITELLI, 1985; VICTORIA FILHO; CHRISTOFFOLETI, 2004).

Na literatura, existem muitos métodos de controle dessas plantas infestantes, dentre eles podemos destacar: o método de controle cultural, mecânico e químico. O controle mecânico é destinado na operação de quebra-lombo juntamente com controle químico realizado através da aplicação de herbicidas. De acordo com Silva (2018) essa técnica é uma das ferramentas de manejo de plantas daninhas mais utilizadas nos canaviais.

A cultura da cana-de-açúcar é muito afetada pela competição com as plantas daninhas por apresentar na maioria das situações brotação e crescimento inicial lentos (PROCÓPIO *et al.*, 2003). Dessa forma, é limitada a aplicação de um programa de manejo integrado de plantas daninhas sobre a cultura, principalmente pela falta de conhecimentos sobre a biologia e ecologia de algumas espécies (FERNÁNDEZ, 1982).

É importante ressaltar que a germinação das sementes de plantas daninhas está relacionada com a presença de luz no seu desenvolvimento. Nesse sentido, a intensidade, o comprimento de onda e o fotoperíodo são variáveis conhecidas por exercerem efeito sobre a germinação de sementes que possuem dormência (COPELAND; MCDONALD, 2001).

As sementes de plantas daninhas que precisam da luz para germinar, são denominadas fotoblásticas positivas, já as plantas daninhas que necessitam da

ausência de luz, são chamadas de fotoblásticas negativa, e quando a luz não interfere no processo germinativo são conhecidas como fotoblásticas neutras ou não fotoblásticas (MAYER; POLJAKOFF MAYBER, 1989; VÁZQUEZ-YANES; OROZCO-SEGOVIA, 1993).

É de suma importância destacar a dinâmica dos bancos de sementes das diversas espécies, pois elas são fundamentais para a introdução de métodos adequados de manejo das plantas daninhas (MURDOCH; CARMONA, 1993). Em áreas agrícolas, as sementes existentes no solo é a principal fonte de regeneração de plantas daninhas (CARMONA, 1992). Dessa forma, o comportamento distingue de acordo com as espécies, condições da semente, ocorrência de predadores e fatores ambientais (CARMONA *et al.*, 1995).

As espécies de plantas daninhas que possuem poucas reservas em suas sementes, germinam quando dispostas sob pequenas camadas de solo, pois essas sementes, em sua maioria, necessitam do estímulo luminosidade (SOUZA *et al.*, 2014). Durante a competição nos cultivos agrícolas, os recursos de absorção de água e interceptação solar disponíveis para a cultura ficam reduzidos, logo a cultura fica limitada para acumular nutrientes em seus tecidos (KARAM *et al.*, 2006). Um trabalho realizado por Chapman e Allan (1989) concluiu que a profundidade recomendada para semeadura é de 2,5 a 3,0 vezes a maior dimensão da semente, podendo aprofundar-se mais em locais com solos arenosos do que naqueles argilosos.

A influência das plantas daninhas pode ocasionar perdas de até 80% da produtividade da cana-de-açúcar, durante todo o desenvolvimento da cultura (PROCÓPIO *et al.*, 2003). Em concordância, Fontes *et al.* (2003) acrescentaram que a presença de plantas daninhas nas áreas de produção de cana, podem levar a redução da produtividade da cultura, promovendo prejuízos, que podem ocasionar à perda total nas lavouras.

Nesse sentido, Pitelli (1985) também acrescentou que a influência negativa das plantas daninhas depende de fatores relacionados à espécie cultivada como a cultivar, espaçamento, densidade e distribuição, além da relação com o manejo da cultura, à comunidade de plantas daninhas, às condições climáticas.

A temperatura possui grande influência na germinação de semente de plantas daninhas, pois em altas temperaturas ocorre a desnaturação de proteínas, ocasionando perda da atividade enzimática. Tratando-se de temperaturas mais baixas, há diminuição ou paralisação do metabolismo da semente, o que afeta a velocidade, porcentagem e uniformidade da germinação, assim em temperaturas máximas e mínimas que demarcam extremos, acima ou abaixo dos quais não ocorre a germinação (HOLT; ORCUTT, 1996).

É importante destacar que as condições climáticas e época de plantio da cultura da cana-de-açúcar diferem de cada região, além das espécies de plantas daninhas dominantes na área e o período de interferência com a cultura (VICTORIA FILHO; CHRISTOFFOLETI, 2004).

Dentro do processo de interferência insere-se a alelopatia, que é mencionada através dos efeitos prejudiciais das plantas de uma espécie vegetal sobre a germinação, crescimento ou desenvolvimento de outras plantas de mesma ou de outra espécie. A alelopatia ocorre por intermédio da liberação de substâncias químicas no ambiente (PITELLI, 1985).

A alelopatia é designada através da liberação de metabólitos secundários, denominados aleloquímicos. Esse fenômeno é apresentado mediante o processo de decomposição dos resíduos vegetais como a palha da cana-de-açúcar. A palha deixada na superfície do solo, após a colheita da cana-de-açúcar sem queima, pode atuar como uma barreira física ou química (efeito aleloquímico) no controle de plantas daninhas (SOARES *et al.*, 2011), podendo interferir na germinação de sementes pela inativação dos mecanismos de dormência e desenvolvimento inicial de plantas daninhas (GOMES JUNIOR; CHRISTOFFOLETI, 2008; MONQUERO *et al.*, 2009).

No processo de decomposição vegetal surge a perda da integridade da membrana celular dos resíduos das plantas, permitindo a liberação direta de compostos que podem atuar no desenvolvimento das plantas. A partir da introdução da colheita mecanizada de cana-crua e a consequente deposição anual e/ou manutenção de uma camada de palha sobre a superfície do solo, geralmente ocorre o aumento na manifestação do processo alelopático da cana-de-açúcar sobre as plantas daninhas (CORREIA; DURIGAN, 2004; GRAVENA *et al.*, 2004).

Conforme Arévalo (1979), existem cerca de 1000 espécies de plantas daninhas, nas diversas regiões produtoras de cana-de-açúcar. As plantas daninhas, que exercem a maior função de interferência, podem ser classificadas como dominantes, já as plantas daninhas que estão presentes em menor densidade e cobertura, cuja presença é ocasional e que quase não resultam em problemas econômicos aos cultivos, são denominadas de secundárias (FERNÁNDEZ-QUINTANILLA *et al*, 1991).

Oliveira e Freitas (2008) destacaram algumas das principais espécies de plantas daninhas de grande influência para a cultura da cana-de-açúcar, são elas: a tiririca (*Cyperus rotundus*), capim-camalote (*Rottoboellia exaltata*), capim-elefante (*Pennisetum atropurpureu*), corda-de-viola (*Ipomoea grandifolia*), capim-fino (*Brachiaria mutica*), capim-colonião (*Panicum maximum*); grama-seda (*Cynodon dactylon*), capimguiné (*Paspalum paniculatum*), siratro (*Macroptilium atropurpureu*), braquiária (*Brachiaria decumbens*), caruru (*Amaranthus hybridus*), serralhinha (*Emilia coccinea*) e capim-colchão (*Digitaria* spp).

As plantas daninhas com hábito trepador possuem grande destaque pela sua forma de interferência, visto que são causadoras de injúrias, particularmente, na colheita mecanizada de cana-crua. Essas plantas necessitam de outras plantas como suporte, nas quais sobem por enrolamento (volúveis) ou prendendo-se a elas por meio de gavinhas, garras ou espinhos (cirriferas), podendo produzir várias ramificações. A *Ipomoea* spp é uma planta daninha com esse hábito, sendo um grande exemplo, pois tem causado interferência generalizada na colheita mecanizada (DEUBER, 1992), com destaque para as espécies *Ipomea quamoclit*, *Ipomea hederifolia*, *Ipomea grandifolia* e *Ipomea purpurea* (KUVA *et al.*, 2007).

Kuva (1999) afirmou que a infestação de *P. maximum* em cana-de-açúcar pode alcançar a redução superior a 50% na produtividade. Além disso, Kuva *et al.* (2001), observaram que a presença de *U. decumbens*, nos canaviais, interferiu de forma negativa, e obteve redução de até 82%. Em casos de alta infestação de plantas daninhas na cana-de-açúcar, as perdas de produtividade podem chegar a 86% na produção de colmos industrializáveis (CHRISTOFFOLETI, 1999).

Kuva (2001) comprovou que espécies como *Brachiaria decumbens* e *Ipomea hederifolia* causam grandes perdas na cultura da cana-de-açúcar, ocasionando

redução de até 86 % de produção. Desse modo, a interferência ocasionada pelas plantas daninhas provoca redução significativa no rendimento da cultura, além de proporcionar outros aspectos negativos, como queda da longevidade do canavial, redução da qualidade industrial da matéria-prima e dificuldade nas operações de colheita e transporte (KUVA *et al.*, 2003). Kuva (1999) afirmou que a infestação de plantas daninhas da espécie *Panicum maximum* pode acarretar redução superior a 50% da produtividade da cana-de-açúcar.

2.1.1 *Ipomoea grandifolia*

A *Ipomoea grandifolia*, popularmente conhecida como corda-de-viola, pertence à família Convolvulaceae, segundo Carneiro *et al.* (2020) essa planta daninha se destaca como uma das mais problemáticas nas lavouras agrícolas no Brasil, pois compete por recursos naturais (água, luz e nutrientes) e interferem na colheita, devido o hábito de crescimento entrelaçado (volúvel com hastes flexíveis). Além de comprometer o rendimento e eficiência das máquinas colhedoras (SILVA *et al.*, 2015).

A corda-de-viola é uma planta nativa da América do Sul, é uma planta daninha anual de verão, com germinação na primavera, crescimento no verão, maturação e senescência no outono (SILVA; SILVA, 2013). A germinação de algumas espécies de Convolvulaceae é intensificada nos meses de verão, principalmente devido às melhores condições de temperatura e umidade, pois o monitoramento dos fluxos de emergência em campo e a previsão dos eventos fenológicos são importantes para otimizar o controle de plantas daninhas (AZANIA *et al.*, 2003)

A corda-de-viola apresenta comprimento de um a dois metros, na fase adulta, a sua reprodução é realizada através de sementes, sendo esse um dos fatores que dificultam seu controle. A questão de as sementes serem fisicamente dormentes, podem permanecer viáveis no solo por vários anos (Carneiro *et al.*, 2020). A sua morfologia é caracterizada por terem folhas de grande variabilidade, flores vistosas e coloridas, com raízes na maioria das vezes pivotantes (Lorenzi *et al.*, 2014). Uma das suas grandes características é crescer de forma emaranhada sobre outras plantas, desenvolve-se bem em solos revolvidos e com boa umidade (GAZZIERO *et al.*, 2015).

Um dos fatores que favorecem o seu desenvolvimento, está relacionado a função de a espécie ser fotoblástica negativa, ou seja, apresentar melhor germinação na ausência de luz, podendo germinar até mesmo em cultivos onde se tem grande quantidade de palha sobre o solo (ORZARI *et al.*, 2013).

Em síntese, Brighenti e Oliveira (2011) alegaram que os prejuízos resultantes nas lavouras de cana-de-açúcar não podem ser atribuídos apenas a competição com as plantas daninhas, mas deve-se considerar um conjunto de pressões ambientais.

2.1.2 *Brachiaria decumbens*

A *Brachiaria decumbens*, popularmente conhecida como capim-braquiária, é uma gramínea originária da África Oriental e do Sul, muito presente nas margens do rio Pangola, na África do Sul, daí a origem do seu nome vulgar. Ela foi levada para diversas partes do mundo, como forrageira, sendo no Brasil grandemente disseminada nas regiões Norte, Centro e Centro-Sul. *B. decumbens* possui grande importância, por se tratar de uma forrageira perene e apresentar grande produção de massa foliar de boa qualidade, resistência ao pastejo intensivo e ao pisoteio, e boa para a proteção do solo contra a erosão (KISSMANN, 1991).

A planta daninha *B. decumbens*, do ponto vista, é classificada como uma planta daninha de grande frequência, visto que infesta lavouras anuais e perenes, pomares, reflorestamento, acostamentos de estradas e terrenos baldios. Esta planta foi introduzida como forrageira, sendo usada até hoje com esse objetivo, no entanto, toda vez que uma área de pastagem é transformada em solo cultivado torna-se uma planta daninha, pela duração da dormência de suas sementes o que possibilita sua persistência na área (LORENZI, 1991).

De acordo com Kissmam (1991), a *B. decumbens* diferentemente de outras gramíneas, possuem sementes que germinam durante longo período após o revolvimento do solo, em conclusão, dificulta o método de controle químico. Logo, sérios problemas ocorrem nas culturas presentes em várias regiões do Brasil, e em lavouras de cana, no estado de São Paulo.

Werner *et al.* (1996) concluíram que, a braquiária é uma gramínea do grupo III, pois apresenta menor exigência de nutrientes do solo, em comparação as gramíneas dos grupos I e II. Essas gramíneas do gênero *Brachiaria* são largamente utilizadas em pastagens na América Tropical, e formam extensos monocultivos (GERDES *et al.*, 2000).

2.2 Efeito da palha da cana-de-açúcar no controle de plantas daninhas

O método de queimadas nos canaviais, com o intuito de eliminar o excedente de palha e, conseqüentemente, facilitar a colheita, era uma prática comum nas lavouras, e isso comprometeu as plantações futuras, além de afetar o ambiente. Em vista disso, os órgãos ambientais recomendaram a migração desse sistema para a colheita mecanizada, favorecendo a diminuição da emissão de gases que instigam o efeito estufa (SANTOS, 2019).

A proibição da queima da cana-de-açúcar considerou o interesse de novos métodos de produções, dentre eles, a importância do uso da palha da cana. Nessa perspectiva, várias pesquisas foram realizadas para avaliar a germinação e a emergência de plantas daninhas, por intermédio da manutenção das camadas de palha. Velini e Negrisoli (2000), estudaram a importância no acúmulo de uma camada de palha sobre o solo podendo ultrapassar 20 t ha¹. Mas enfatizou-se a redução da amplitude térmica, aumento do teor de água e matéria orgânica, além da diminuição da quantidade de luz no solo (VASCONCELOS, 2002).

A deposição de palha sobre a superfície do solo acarreta algumas dificuldades no processo produtivo, entre essas dificuldades podem ser citados os entraves às operações de cultivo e adubação da cana-soca (AUDE *et al.*, 1993), a baixa taxa líquida de mineralização de N (TRIVELIN *et al.*, 1995), a dificuldade de execução de controle seletivo de plantas daninhas, o aumento das populações de insetos-praga (MACEDO *et al.*, 2003) e a interferência negativa da palha sobre a brotação da cana-de-açúcar (VASCONCELOS, 2002). Durante a colheita mecanizada de cana-crua, a quantidade dos resíduos (folhas e palmitos), depende de uma série de condições

intrínsecas à máquina colhedora e outras relativas à planta ou à condição de manejo (ABRAMO FILHO *et al.*, 1993).

A infestação de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar tem sido modificada com a implementação da colheita mecanizada (AZANIA *et al.*, 2002). Visto que, a cobertura de palha de cana pode afetar a dormência, germinação, emergência e estabelecimento das plantas daninhas, o que pode provocar modificações da comunidade infestante (CORREIA; DURIGAN, 2004).

A cobertura vegetal deixada na superfície do solo em sistemas de produção agrícola pode proteger o solo contra a radiação solar, reduzir a evaporação de água, dissipar a energia de impacto das gotas de chuva, reduzindo a erosão hídrica (MANECHINI, 1997), além de aumentar a eficiência da ciclagem dos nutrientes (GASSEN; GASSEN, 1996) e, conseqüentemente, constituir uma alternativa de controle de plantas daninhas (OLIVEIRA *et al.*, 2001; SEVERINO; CHRISTOFFOLETI, 2001). Alguns trabalhos comprovam que o efeito físico altera o aumento de temperatura, e desta forma, retardam a emergência de algumas plantas daninhas (EGLEY; DUKE, 1985; BEYAERT *et al.*, 2002).

Os restos vegetais da palhada da cana-de-açúcar, que fica na superfície do solo funcionam como uma camada isolante, dificultando a penetração dos raios solares reduzindo a temperatura e a amplitude térmica do solo. Logo, a amplitude térmica interfere de maneira decisiva na germinação de grande número de espécies de plantas daninhas (Egley; Duke 1985). Diferenças nas exigências de maior ou menor amplitude térmica do solo constitui-se no estímulo mais eficiente para germinação das plantas (Velini; Negrisoli, 2000).

Todavia, resultados obtidos em uma pesquisa realizada por Martins *et al.* (1999), os autores alegaram que a barreira de palha não foi capaz de inibir a brotação e a formação da parte aérea da tiririca. Além disso, segundo Durigan (2000), a tiririca não foi afetada mediante a camada de palha e não teve brotações inibidas ou estimuladas por essa camada. Nesse sentido, alguns trabalhos afirmam que podem ocorrer uma interferência na emergência das plantas daninhas pela presença da palha de forma crescente até 15 t ha⁻¹, para espécies de *Sida rhombifolia*, *Ipomoea grandifolia* e *Bidens pilosa* e *Euphorbia heterophylla*. (MARTINS *et al.*, 1999).

Nesse sentido, a presença de palha beneficiou determinadas espécies de plantas daninhas em detrimento de outras, além de modificar os efeitos físicos, alterações químicas e biológicas que acometeram danos a composição das plantas daninhas. Um exemplo é o caso da espécie *Cyperus rotundus*, o seu desenvolvimento é afetado pela presença de palha, e isso influencia de forma negativa no número de brotações, na área foliar e na biomassa fresca e seca das folhas e da parte aérea total. (NOVO *et al.*, 2005). Dessa forma, a cobertura de palha reduz significativamente a intensidade de infestação de áreas por plantas daninhas, além de modificar a composição da população infestante (ALMEIDA; RODRIGUES, 1985).

A adoção do sistema de cana crua, resulta em significativas modificações nas técnicas de cultivo, como: aumento do espaçamento nas entrelinhas e deposição de palhada sobre o solo, influenciando diretamente a ocorrência e o manejo de plantas daninhas. Vale ressaltar que na colheita de cana crua, são deixados na superfície do solo de 5 a 20 toneladas de palha ha^{-1} , e essa quantidade depende de diversas características relacionadas com a variedade da cana-de-açúcar utilizada, a despalha do colmo, hábito de crescimento de touceira, uniformidade de altura e tamanho dos ponteiros, produtividade e desenvolvimento das plantas (Velini; Negrisoli 2000).

Rossi *et al.* (2006) avaliaram a germinação de plantas daninhas em áreas de cana crua, e constataram que em época seca, a presença da palha inibiu completamente a germinação de *Brachiaria plantaginea* e *Digitaria* spp. com 7,5 toneladas de palha ha^{-1} , e *Brachiaria decumbens*, *Bidens pilosa*, *Panicum maximum* e *Commelina benghalensis*, com 15 t ha^{-1} de palha.

Todavia, os efeitos químicos e físicos, ao nível de 4 t ha^{-1} de palha apresentou maior ocorrência de plantas daninhas quando comparado ao tratamento sem palha. Dessa forma, a proporção do volume de palha não foi suficiente para cobrir literalmente a superfície do solo, e assim, causar um efeito de barreira físico na planta daninha (OLIVEIRA; FREITAS 2009). Portanto, a liberação de compostos químicos pela palha pode afetar a germinação e desenvolvimento de espécies infestantes.

Velini *et al.* (2004), afirmaram que *Brachiaria decumbens*, *B. plantaginea*, *Panicum maximum* e *Digitaria horizontalis*, são plantas daninhas consideradas importantes na cultura da cana-de-açúcar no Brasil, e foram controladas com restos culturais de volume de palhada de 15 t ha^{-1} deixado na superficial do solo.

Em contrapartida, um outro estudo realizado com a cobertura do solo com 0, 5, 10 e 15 t ha⁻¹ de palha sobre as espécies de *Brachiaria decumbens*, *Digitaria horizontalis*, *Sida spinosa*, *Ipomoea grandifolia*, *Ipomoea hederifolia* e *Ipomoea quamoclit*, inibiu apenas a emergência de plântulas das espécies *B. decumbens* e *S. spinosa*, sendo o mesmo observado para *D. horizontalis* submetida a 10 e 15 t ha⁻¹ de palha, ou seja, para a espécie *Ipomoea grandifolia* e *Ipomoea hederifolia*, o número de plantas emergidas não se mostrou alterado em decorrência da presença da camada de palha, independentemente da quantidade. Já, para a espécie *Ipomoea quamoclit* a presença da cobertura do solo com palha incrementou a emergência de plântulas (CORREIA; DURIGAN, 2004).

É importante destacar que a palha oriunda das operações mecanizadas depositada sobre a superfície do solo, conforme Belapart (2020), pode influenciar as características químicas, físicas e biológicas dos solos, além da relação do efeito aleloquímico no controle de plantas daninhas.

Da mesma forma que interfere na ocorrência das plantas daninhas, a palha também afeta o comportamento dos herbicidas aplicados em pré-emergência e cuja atuação depende da chegada do mesmo ao solo. A palha de cana representa uma barreira à chegada desses herbicidas no solo e as formulações podem interferir significativamente nessa dinâmica dos herbicidas na palha (DE MATOS, 2018; TROPALDI *et al.*, 2021)

2.3 Controle químico de plantas daninhas

Dentre as formas de controle de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar, o controle químico é o método mais utilizado, pois se trata de um método econômico e de alto rendimento em comparação com os métodos mecânicos, manuais ou físicos.

No Brasil, encontram-se disponíveis vários produtos registrados para a cultura da cana-de-açúcar, que assimilou de forma rápida essa tecnologia e é uma das primeiras no consumo de herbicidas (PROCÓPIO *et al.*, 2003). Portanto, devido aos

vários fatores que interagem entre a escolha do tratamento químico e a expressão do resultado desses tratamentos, os resultados podem ser satisfatórios, no processo de controle de plantas daninhas e também em casos de fracasso, principalmente devido a fatores de difícil controle.

O sistema de produção da cana-de-açúcar demanda altos recursos financeiros para o controle de plantas daninhas, e a maior parte desse orçamento é destinado aos herbicidas químicos. Em casos extremos de infestação, o custo do controle das plantas daninhas pode chegar a até 30% do custo de produção em cana-soca e a 15-25% em cana planta. Dessa forma, é importante considerar o manejo adequado das plantas daninhas para alcançar o retorno com a produção (LORENZI, 1995).

É importante enfatizar que, o uso constante e inadequado de herbicidas possa causar uma pressão de seleção na comunidade de plantas, podendo resultar na resistência, como surgimento dessas plantas resistentes ao uso impróprio dos produtos, geralmente, em altas doses e/ou falta de rotação de herbicidas com mecanismos de ação diferentes. Além disso, é importante também, atentar as condições climáticas e analisar o equipamento que será utilizado nas aplicações, pois em áreas com declive acentuado a pulverização com autopropelido não é recomendada, tornando-se a aplicação aérea uma alternativa viável (PITELLI, 1987; CARVALHO *et al.*, 2008; CARBONARI *et al.*, 2011).

Em concordância com Passini e Kranz (1997), o controle químico é a determinação de qual molécula utilizar para o controle das plantas presentes na área e a dosagem que irá resultar no controle satisfatório. As respostas de plantas controladas e do período residual de controle sofre variações, dependendo das condições os fatores que se interagem na composição da comunidade, característica do herbicida e condições ambientais.

Esses herbicidas causam modificações no metabolismo e ocasionam danos no desenvolvimento e crescimento das plantas. Além disso, é um método que permite resultados rápidos, ou seja, as plantas podem ser controladas antes ou depois da emergência. Rodrigues e Almeida (2011) contabilizaram que, junto ao Ministério da Agricultura existem aproximadamente quarenta moléculas de herbicidas para utilização na cultura da cana-de-açúcar.

Os herbicidas são específicos para cada modalidade de aplicação, as opções são para aplicação em pré-emergência, pós-emergência inicial e pós-emergência tardia. Estes herbicidas são pertencentes de diferentes grupos químicos, apresentam diferentes características físico-químicas e interagem de diferentes formas com as condições edáficas e climáticas do meio (CHRISTOFFOLETI; LÓPEZ-OVEJERO, 2005).

2.3.1 Herbicida sulfentrazone

O herbicida sulfentrazone (N-[2,4-dichloro-5-[4-(difluoromethyl)-3-methyl-5-oxo-1,2,4-triazol-1-yl]phenyl]methane sulfonamide), do grupo químico aril triazolinonas, corresponde à fórmula molecular $C_{11}H_{10}Cl_2F_2N_4O_3S$. Esse herbicida foi elaborado para aplicação preferencialmente em pré-emergência, com o objetivo de controlar espécies de plantas daninhas infestantes, dicotiledôneas e monocotiledôneas (RODRIGUES; ALMEIDA, 2005).

Na cultura da cana-de-açúcar, as recomendações sugeridas pelo fabricante estão entre os intervalos das doses de 1,2 a 1,6 L ha⁻¹, volume de calda aplicação aérea entre 10 – 40 L ha⁻¹ e 300 – 400 L ha⁻¹, para aplicação terrestre, mediante uma única aplicação. A presença desta molécula promove inibição da enzima protoporfirinogênio oxidase (Protox). Esta enzima converte o protoporfirinogênio-IX em protoporfirina-IX, com uso de oxigênio molecular. Dessa forma, esse herbicida atua nas plantas daninhas causando ruptura da membrana celular, causando peroxidação de lipídios da membrana celular e, conseqüentemente, a ruptura desta, causando desidratação e levando as plantas suscetíveis à morte. (DUKE *et al.*, 1991; DAYAN *et al.*, 1997).

De acordo com o seu fabricante o seu modo de ação é similar ao dos herbicidas do grupo difenil éteres, logo, sugerem-se ser aplicado, preferivelmente, após a semeadura da cultura, visto que, o uso imediato antes ou durante a fase de emergência das culturas aumenta o risco de injúria, quando comparado com aplicações mais precoces, provavelmente devido à maior concentração do herbicida na zona de germinação das sementes (HULTING *et al.*, 2001).

Esse produto é muito influenciado pelo índice de pH. A sorção geralmente diminui em resposta a um aumento do índice de pH, principalmente quando esse aumento é acima do pK do herbicida (6,56), pois há predomínio da forma ionizada. Contudo, abaixo desse valor e aumento da forma molecular, a sorção aumenta (GREY *et al.*, 1997).

2.3.2 Herbicida amicarbazone

O herbicida amicarbazone (4-amino-N-tert-butyl-4,5-dihydro-3-isopropyl-5-oxo-1H-1,2,4-triazole-1-carboxamide), representado pela fórmula molecular $C_{10}H_{19}N_5O_2$, é um produto sistêmico relacionado ao grupo químico das triazolinonas. De acordo com o fabricante, esse herbicida possui grande resistência à seca e um longo período residual. O diferencial desse produto é a sua reativação do período residual após uma precipitação, permitindo uma colheita livre de impurezas vegetais causadas por plantas indesejáveis que comprometem a produtividade agrícola e a qualidade matéria-prima na industrialização (GIMENES, 2004).

O amicarbazone é recomendado para as duas modalidades de aplicação: pré e pós emergência. Segundo o fabricante, na cultura da cana-de-açúcar, ele é indicado mediante o intervalo de doses 1,0 a 2,0 (Kg p.c./ha), a recomendação desse produto é feita para aplicações em pré-emergência da cultura (cana-planta) ou em pós-emergência logo após o corte da cana-soca, volume de calda aplicação terrestre: 200 L ha⁻¹, volume de calda aplicação aérea: 10 – 20 L ha⁻¹ ou 20 – 40 L ha⁻¹, mediante uma única aplicação. O seu mecanismo de ação principal é a inibição da fotossíntese das plantas daninhas, atuando na reação de Hill (fotossistema II), inibindo o transporte de elétrons e paralisando a fixação de CO₂ e a produção de ATP e NADPH₂, os quais são elementos essenciais ao crescimento das plantas (TOLEDO *et al.*, 2004).

2.3.3 Herbicida indaziflam

O indaziflam (N-[(1R,2S)-2,3-dihydro-2,6-dimethyl-1H-inden-1-yl]-6-[(1RS)-1-fluoroethyl]-1,3,5-triazine-2,4-diamine), constituído pela fórmula molecular $C_{16}H_{20}FN_5$, é um ingrediente ativo com mecanismo de ação de inibição da biossíntese de celulose. Esse herbicida é pertencente à classe química "alkylazine" (TOMPKINS, 2010), sendo o primeiro herbicida pertencente a esse grupo químico registrado para uso no Brasil. A primeira formulação comercial (Alion®) com indaziflam foi registrada em 2016 no Brasil (AGROFIT, 2020).

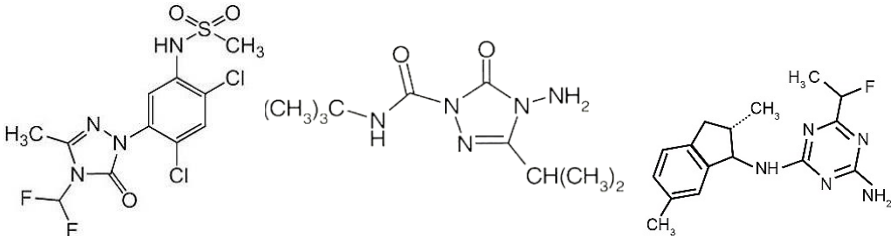
Este produto é recomendado para o controle de Liliopsidas (monocotiledôneas) e Magnoliopsidas (eudicotiledôneas), com modalidades de aplicações em pré ou pós-emergência inicial (BROSNAN *et al.*, 2011; PERRY *et al.*, 2011; BROSNAN *et al.*, 2012).

O indaziflam é caracterizado pelo seu prolongado período residual no solo, superior a 150 dias, permitindo uma maior flexibilidade da época de aplicação, diferenciando-o dos demais herbicidas para aplicação em pré-emergência (KAAPRO; HALL, 2012). De acordo com o fabricante, na cultura da cana-de-açúcar, ele é indicado mediante o intervalo de doses 0,1 a 0,2 L ha⁻¹, através de aplicação única e volume de calda de 200 L ha⁻¹. A solubilidade em água desse herbicida é baixa (0,0028 kg m³ a 20°C), o Koc < 1.000 mL g⁻¹ de carbono orgânico, pKa = 3,5 e log Kow em pH 4; 7 ou 9 = 2,8, sendo considerado moderadamente móvel (TOMPKINS, 2010) além de ser pouco móvel no solo (ALONSO *et al.*, 2011).

O herbicida indaziflam afeta a formação da parede celular e inibe a deposição de cristais, dessa forma o herbicida afeta o desenvolvimento de folhas novas enquanto as que já estão desenvolvidas dificilmente serão afetadas. Além disso, o produto apresenta seletividade principalmente às culturas semi perenes e perenes, sendo pouco seletivo para culturas anuais. (GUERRA *et al.*, 2013).

As características físico-químicas dos herbicidas sulfentrazone, amicarbazone e indaziflam estão detalhados na Tabela 1.

Tabela 1 – Características físico-químicas dos herbicidas sulfentrazone, amicarbazone e indaziflam

Características	Sulfentrazone	Amicarbazone	Indaziflam
Estrutura química			
Nome químico	N-[2,4-dichloro-5-[4-(difluoromethyl)-3-methyl-5-oxo-1,2,4-triazol-1-yl]phenyl]methane sulfonamide	4-amino-N-tert-butyl-4,5-dihydro-3-isopropyl-5-oxo-1H-1,2,4-triazole-1-carboxamide	(N-[(1R,2S)-2,3-dihydro-2,6-dimethyl-1H-inden-1-yl]-6-[(1RS)-1-fluoroethyl]-1,3,5-triazine-2,4-diamine
Fórmula molecular	C ₁₁ H ₁₀ Cl ₂ F ₂ N ₄ O ₃ S	C ₁₀ H ₁₉ N ₅ O ₂	C ₁₆ H ₂₀ FN ₅
Grupo químico	triazolona	triazolinonas	Alquilazinas
pKa*	6,56 (ácido fraco)	0	3,50 (ácido fraco)
Kow**	1,48	1,20	2,80
Koc***	43	25	<100
Meia-vida (dias)	180	90 a 180	150
Pressão de vapor	1,13 x 10 ⁻⁴ a 20°C	1,3x10 ⁻⁶ a (20°C)	2,5 x 10 ⁻⁸ a 20°C

*constante de equilíbrio de ionização ácido; **coeficiente de partição octanol-água; ***coeficiente de partição normalizado para o teor de carbono orgânico.

2.4 Características físico-químicas das caldas de herbicidas

As caldas fitossanitárias apresentam diferentes características físico-químicas que, em conjunto com as condições ambientais e atributos físicos, químicos e biológicos do solo e cobertura vegetal, modificam a sua dinâmica. Estas características são específicas na composição para cada herbicida, mesmo para aqueles pertencentes ao mesmo grupo químico. É de suma importância o conhecimento dessas características, para o melhor rendimento da sua utilização (PROCÓPIO *et al.*, 2003).

Esses produtos estão sujeitos a sofrer diversos danos, pois eles passam por diferentes etapas de armazenamento antes de serem utilizados no campo. Conforme Santos (2002), as consequências são: formação de grumos (empedramento das formulações), dissociação da emulsão (pode ocorrer devido à qualidade da água ou baixa estabilidade), formação de cristais (ocorrência em soluções aquosas e concentrados emulsionáveis, devido à instabilidade da solução em baixas temperaturas), floculação (incompatibilidade química).

Os herbicidas são diferenciados por diversas características, dentre elas, as mais importantes são: constante de equilíbrio de ionização de um ácido ou base fraca (pKa); Coeficiente de distribuição octanol-água (Kow); Solubilidade em Água; Pressão de Vapor e Meia-vida do herbicida no solo (CHRISTOFFOLETTI; LOPEZ OVEJO, 2005).

Além disso, a água é um fator de grande importância nas formulações das caldas fitossanitárias, pois ela pode alterar a qualidade da calda, que por sua vez, pode influenciar os tratamentos fitossanitários (AZEVEDO, 2015). De acordo com Oliveira (2018), a água deve estar livre de sedimentos e elementos químicos que possam se ligar aos produtos fitossanitários e reduzir sua eficácia ou que comprometam o funcionamento do equipamento de aplicação.

Nessa perspectiva, a água precisa ser avaliada através da sua composição química, física e biológica. As características físicas são mais fáceis de serem observadas, pois geralmente estão associadas à presença de sólidos na água. Todavia, as características químicas, geralmente são mensuradas por meios analíticos, realizados em laboratórios (AZEVEDO, 2015). Nesse sentido, alguns parâmetros caracterizam a qualidade da água, como: a matéria orgânica, o pH, a turbidez, os sólidos totais, os sólidos totais dissolvidos e a condutividade elétrica (CETESB, 2018).

2.4.1 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica (CE) é um parâmetro que determina a existência de sais dissolvidos na água, com o intuito de estimar o conteúdo de íons de uma amostra. Dessa maneira, quanto maior for a quantidade de íons dissolvidos, maior será o valor da condutividade elétrica em uma amostragem de água. Através desse parâmetro, não é possível saber quais são os íons presentes na água, mas, os principais responsáveis pelos valores de condutividade são íons de magnésio, cálcio, sódio, potássio, sulfatos, carbonatos e cloretos (RHEINHEIMER; SOUZA, 2000).

A condutividade elétrica é caracterizada por conter índices de salinidade da água através do transporte da corrente elétrica pelos sais dissolvidos na água, diferenciando-se pela temperatura, e concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas. Deste modo, a presença de íons como CaCO_3 , pode inativar os herbicidas, e dependendo concentração estudada, pode deixar a água imprópria para utilização na pulverização agrícola (PRADO *et al.*, 2011). Vidal *et al.* (2016) confirmaram que o herbicida glifosato, submetido em água dura, com elevada concentração de CaCO_3 , pode ter sua eficiência reduzida, pois ele se liga com estes, formando um composto de difícil penetração na planta.

2.5 Efeitos de adjuvantes nas caldas fitossanitárias

Os adjuvantes são definidos como qualquer substância acrescentada nas caldas fitossanitárias, que melhore o desempenho da aplicação (WITT, 2001). Essas substâncias são consideradas como produtos inertes, com o objetivo de aumentar a eficiência biológica dos ingredientes ativos. Uma das finalidades dos adjuvantes é melhorar a aderência sobre a superfície foliar e aumentar a absorção foliar do ingrediente ativo (OZEKI, 2006).

Em conformidade com Stickler (1992), os adjuvantes agem de maneira distinta, mas promovem melhoras no molhamento, na aderência, no espalhamento, na redução de espuma e na dispersão da calda de pulverização. Nesse sentido, Green e

Hazen (1998) declararam que os adjuvantes influenciam, também, na tensão superficial, no balanço hidrofílico-lipofílico, na concentração micelar crítica, o pH, a estrutura química, a solubilização, o depósito, a fotoproteção, os íons trocáveis, a dose e a fitotoxicidade das caldas fitossanitárias. Além disso, é importante enfatizar outros benefícios dos adjuvantes, como: o aumento da absorção do ingrediente ativo, aumento da retenção no alvo, aumento da persistência e redução da concentração.

Além de todas essas vantagens da utilização dos adjuvantes nas caldas fitossanitárias, Underwood (2000) salientou que esses produtos aumentam a atividade biológica do ingrediente ativo, melhoram a segurança da aplicação, minimizam ou eliminam uma ou mais variáveis que afetam a qualidade de uma aplicação, além de controlar mais os potenciais riscos de deriva, diminuindo a exposição do trabalhador ou a contaminação do meio ambiente, melhorando economicamente a aplicação.

Em prática, Holloway (1994) concluiu que, durante uma aplicação, quando as gotas de pulverização são espalhadas nas folhas, essas podem ser retidas, refletidas ou fragmentar-se em gotas menores, de acordo com o tamanho, velocidade e das propriedades físico-químicas intrínsecas à calda e da característica da superfície do alvo. Essas propriedades estão relacionadas aos componentes da formulação, com destaque à quantidade de adjuvantes na composição de cada produto.

No entanto, os adjuvantes podem alterar o padrão de gotas e a vazão da pulverização. Nesse caso, é importante atentar aos cuidados de manutenção dos equipamentos de pulverização, sendo preferível fazer a calibragem (CONTIERO, 2005). Miller e Butler Ellis (2000), salientam que alterações nas propriedades das caldas podem influenciar tanto o processo de formação das gotas como o comportamento destas em contato com o alvo, alterando o risco de deriva.

2.5.1 Adjuvante Assist

O Assist é um óleo mineral constituinte de misturas de hidrocarbonetos parafínicos, ciclo parafínicos e aromáticos saturados e insaturados provenientes da destilação do petróleo, tipo concentrado emulsionável. De acordo com Araújo e

Raetano (2011), o uso de adjuvantes a base de óleos, diminui a taxa de degradação dos produtos fitossanitários. A utilização de óleos nas caldas tem como função principal de melhorar a penetração e adesão dos defensivos nas folhas (ANTUNIASSI, 2009).

Os óleos minerais possuem características de melhorar a distribuição e a aderência na superfície dos alvos, além de retardar a evaporação da calda, acelerar a absorção, diminuir o efeito de lavagem da folha pela chuva, melhorar a eficiência da aplicação e diminuir os riscos de deriva nas aplicações (PETROBRÁS, 2012). Durigan (1983) destaca ainda como vantagens do óleo mineral, a redução de perdas por hidrósile e por fotodecomposição dos defensivos na calda de aplicação.

2.5.2 Adjuvante Agral

O Agral é um espalhante adesivo não iônico, que pode ser adicionado a qualquer produto fitossanitário com o intuito de melhorar a distribuição das caldas fitossanitárias, propiciando a formação de uma película protetora sobre superfícies com folhas lisas, cerosas ou pilosas, facilitando a absorção foliar para os herbicidas. De acordo com o fabricante, é um produto neutro e mistura-se facilmente em solventes. O Agral é pertencente do grupo químico Alquil Fenol Etoxilado, utilizado com maior frequência em adição com herbicidas (CHOW, 2018; FOY, 2018; GASKIN; KIRKWOOD, 2018).

2.5.3 Adjuvante Silwet

O Silwet é um molhante/espalhante não iônico à base de organosilicone, a sua função é melhorar a cobertura, adesão e penetração da pulverização, diminuindo a tensão superficial das soluções, permitindo o aumento da aderência e molhabilidade das caldas sobre as superfícies tratadas. De acordo com o fabricante, a sua formulação compreende concentrado para emulsão com 850g/L ou 84% (p/p) de

metoxi-poli (etoxi)-propil-heptametiltrisiloxano, e a sua aplicação corresponde nas concentrações de 0,01% a 0,1% dependendo do volume de calda, do tipo de produto a que é adicionado e do tipo de cultura a ser tratada. Vários estudos foram realizados com esse produto, um deles realizado por Montório (2001), concluindo que o surfatante é muito eficiente na redução da tensão superficial.

Além disso, Oliveira (2011) determinou a tensão superficial de 33 soluções de água e diversos adjuvantes. Todas as soluções de adjuvantes reduziram a tensão superficial em relação à água, com destaque para o Silwet, que reduziu a tensão superficial. Iost (2008) em outro trabalho, avaliou o ângulo de contato de soluções aquosas com adjuvantes. Todavia, o ângulo de contato foi mensurado no momento em que foi cessado o movimento de espalhamento da gota. As diferenças entre as metodologias impedem a comparação entre os resultados. Apesar disso, o menor ângulo foi encontrado para o adjuvante Silwet.

2.5.4 Tensão superficial

Os trabalhos que envolvem tensão superficial de gotas são complementares para a qualidade das aplicações fitossanitárias. Para que seja realizada análises de tensão superficial, Mendonça *et al.* (2007) estabeleceram o tempo de formação das gotas e a concentração de um surfatante suficiente para alcançar a tensão superficial mínima da solução. Dessa forma, a tensão superficial está relacionada entre as propriedades dos adjuvantes que influenciam na atividade biológica dos produtos fitossanitários (GREEN; HAZEN, 1998).

Portanto, é após a diminuição da tensão superficial que são obtidos os efeitos molhantes (MENDONÇA *et al.*, 1999), espalhante e penetrante, de acordo com Greene e Bukovac (1974) e maior velocidade de absorção e/ou translocação, afirmam Martins *et al.* (2009). Logo, os adjuvantes que possuem a característica de alterar a tensão superficial são classificados como surfatantes (DURIGAN, 1993; KISSMANN, 1997), sendo esses surfactantes os adjuvantes responsáveis por modificar a tensão superficial da água (KISSMANN, 1997).

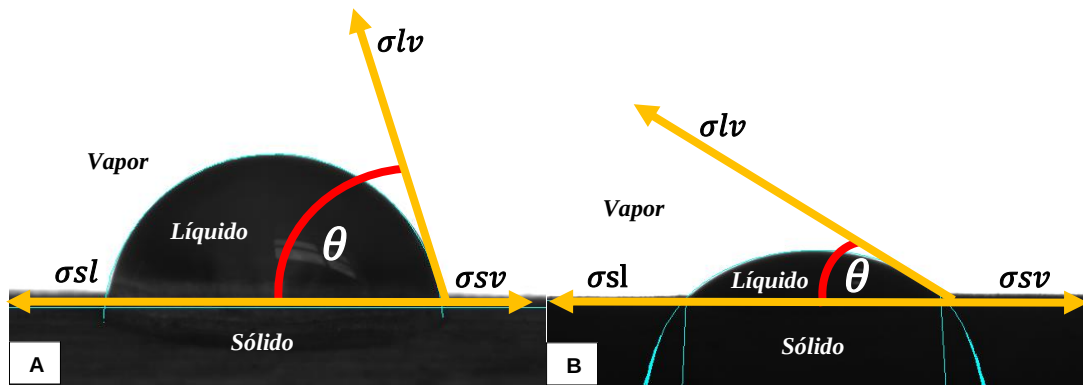
Todavia, é importante atentar que, a diminuição da tensão superficial de soluções aquosas pode expressar efeitos antagônicos através da adição de surfatantes aos produtos fitossanitários (MENDONÇA *et al.*, 1999; COSTA *et al.*, 2005; SILVA *et al.*, 2006).

2.5.5 Ângulo de contato

A interligação entre um sólido e dois ou mais fluidos é designada de molhabilidade, e está relacionada ao balanço de energia interfacial sólido-líquido-vapor. No processo de pulverização, quando as gotas são depositadas nas plantas, é possível mediar o ângulo de contato com que uma gota fica na superfície (KIYOMURA *et al.*, 2015).

O equilíbrio de forças que caracterizam os ângulos dos líquidos com a superfície, é possível de se observar quando uma gota líquida está em equilíbrio com o vapor e com a superfície sólida. Logo, esse fenômeno é baseado na equação de forças de Young (YOUNG, 1805) e na equação de energia de Dupré (DUPRÉ, 1869). Como resultado, essas forças que atuam entre moléculas iguais são denominadas como tensão superficial de líquidos e sólidos.

Figura 1 - Líquidos em estabilidade sobre superfície sólida (palha da cana-de-açúcar). A - Água residual, B - Calda fitossanitária contendo espalhante adesivo



O ângulo formado entre a interface líquido-vapor e a superfície sólida é chamado de ângulo de contato estático (θ). A associação desse ângulo de contato com as tensões superficiais específicas de cada fase está relacionada pela equação de Young-Dupré:

$$\cos\theta = \frac{\sigma_{sv} - \sigma_{sl}}{\sigma_{lv}}$$

Segundo Moita Neto (2006), a medida entre esses parâmetros pode ser denominada de capacidade de molhamento, podendo ser caracterizá-la como: hidrofílica, quando o líquido que interage com a superfície formar um ângulo menor que 90° ou hidrofóbicas, quando os ângulos forem maiores que 90° . Além disso, quando este ângulo for igual a 0° trata-se de um caso extremo de máxima afinidade química entre a superfície e o líquido e, portanto, haverá espalhamento completo do líquido na superfície. No entanto, quando é igual ou muito próximo a 180° é o outro caso extremo, onde líquido não apresenta qualquer interação com a superfície.

Em relação a água, se a superfície de deposição desse solvente for hidrófoba (com ceras), o contato será menor, logo a gota será esférica e o ângulo de contato será maior. Porém, se a superfície for mais hidrófila, a gota se espalhará, podendo,

até mesmo, formar um filme uniforme. Diante disso, a molhabilidade das folhas das plantas depende dos constituintes de sua epiderme, onde a atração pela água precisa ser maior que a tensão superficial desse líquido para uma boa molhabilidade (KISSMANN, 1997; LO; HOPKINSON, 1995).

2.6 Tecnologia de aplicação

Um dos maiores desafios da agricultura é manter a produção de alimentos mediante as ameaças causadas por pragas, doenças e plantas daninhas. A partir do surgimento dos produtos fitossanitários sintéticos, como o DDT em 1945 e o herbicida glifosato entre 1970 e 1980, a produção agrícola obteve grandes crescimentos, já que produtos inovadores possibilitaram o manejo de pragas, doenças e plantas daninhas de maneira eficiente e, principalmente, de baixos custos, permitindo a manutenção do potencial produtivo das plantas cultivadas (RHOADES, 1963; UNSWORTH, 2010).

Cunha *et al.* (2007) declararam que o maior objetivo nas aplicações é a máxima homogeneidade das gotas pulverizadas, obtendo a produção de todas as gotas com o tamanho desejado. Com base nesses resultados, os produtos fitossanitários sintéticos se tornaram a principal ferramenta para o controle de agentes de danos em culturas, e as pesquisas multidisciplinares em aplicações mais aprofundadas. Em vista disso, Matuo (2001) concluiu que a Tecnologia de Aplicação de Produtos Fitossanitários é o emprego de conhecimentos científicos teóricos e práticos que garantam a correta colocação do produto no alvo, em quantidade necessária, de forma econômica, com o mínimo de contaminação de outras áreas.

É importante enfatizar que misturas de formulações, objetivando a economia da aplicação terão que ser mais cuidadosas, principalmente, nas características finais. Portanto, deve-se levar em consideração a eficiência do produto, o seu comportamento em relação à cultura, ao aplicador (homem) e ao meio ambiente. Durante as aplicações, podemos identificar a pulverização, que é um processo físico-mecânico que transforma uma substância sólida ou líquida em partículas ou gotas as mais uniformes e homogêneas possíveis. Ela pode ser influenciada pelo tipo de bico, volume de aplicação e fatores climáticos (SANTOS, 2002; RAMOS; PIO, 2003).

Nessa perspectiva, o sucesso das aplicações depende muito da forma que foi aplicado o produto químico. Os herbicidas, por exemplo, devem exercer a sua ação sobre as plantas daninhas que se deseja controlar e qualquer quantidade do produto químico que não atinja esse alvo não terá nenhuma eficácia e se constituirá em perda (CONCEIÇÃO; SANTIAGO, 2003).

Para que seja realizada a distribuição da calda em uma determinada área, utiliza-se do seu fracionamento em gotas, utilizando predominantemente a energia hidráulica, na qual a calda é pressurizada e forçada a passar pelo orifício de estruturas denominadas pontas de pulverização. O jato de calda é projetado para fora do pulverizador em alta velocidade e, ao chocar-se com o ar, é fracionado em gotas, resultando em gotas (LIN; REITZ, 1998).

As pontas de pulverização são dispositivos utilizados para a pulverização dos produtos, essas estruturas são de suma importância nas aplicações (MATTHEWS *et al.*, 2014). As pontas têm a função de permitir a passagem constante e homogênea de calda, projetar este líquido em direção ao alvo na forma de gotas, definir o tamanho das gotas de pulverização, garantindo também a homogeneidade de distribuição volumétrica por unidade de área alvo (FORNEY *et al.*, 2017).

Além disso, a qualidade da distribuição volumétrica proporcionada por uma ponta de pulverização é de grande importância, visto que todo o produto fitossanitário apresenta uma faixa de dosagem considerada ideal para controlar o alvo. Volpe *et al.* (2012) concluíram que subdosagens podem acarretar no não controle de alguns organismos menos suscetíveis. Em contrapartida, dosagens superiores às recomendadas, podem causar danos em plantas cultivadas, expressando efeitos fitotóxicos (ALBRECHT *et al.*, 2014).

Um dos fatores responsáveis pelo sucesso das aplicações é a pressão de trabalho, ela é criadora da uniformidade de distribuição volumétrica, além do modelo de ponta e seu ângulo de pulverização, o espaçamento entre pontas e distância do alvo (CUNHA; SILVA, 2010; MATTHEWS *et al.*, 2014), que podem ser modificados com adequações e regulagens do equipamento pulverizador antes e durante as aplicações (BAUER; RAETANO, 2004; FORNEY *et al.*, 2017).

Segundo Matuo (1990), é de suma importância a escolha do tamanho ideal de gotas a ser trabalhada, além de considerar os produtos utilizados, especialmente quanto a sua sistemicidade na planta; propriedades físico-químicas da calda, especialmente quanto a sua capacidade de espalhamento sobre a superfície alvo; características do alvo, considerando o local que o produto deve atingir; distância entre o local em que ocorre a pulverização e o alvo, além das condições ambientais no momento da aplicação, como a velocidade do vento, umidade relativa do ar e temperatura.

O tamanho de gotas é representado pelo diâmetro mediano volumétrico (DMV), cujo valor divide o espectro de gotas em dois volumes iguais, em um lado somente com gotas maiores ao DMV e em outro lado, com gotas menores. Dessa forma, as gotas produzidas por pontas de pulverização de energia hidráulica resultam em grande variedade de tamanhos muito maiores ou menores que aquele desejado (FERREIRA *et al.*, 2013; SASAKI *et al.*, 2015). Além disto, as variações na composição da calda também podem interferir na uniformidade das gotas, pois a diversidade de combinações de produtos pode acarretar alterações dos resultados no espectro de gotas (CARVALHO *et al.*, 2017; COSTA *et al.*, 2015; FERREIRA *et al.*, 2011).

É importante enfatizar as condições de perda de produtos causados por deriva, este é um problema que acomete as aplicações. Além dos efeitos prejudiciais observados em áreas vizinhas às aplicações, com contaminação de ar, água, culturas não-alvo e humana (GIL; SINFORT, 2005), o produto perdido pode comprometer a eficiência de toda a aplicação, uma vez que a quantidade de produto que atinge o alvo pode ser insuficiente para o controle do alvo em estudo (HEIDARY *et al.*, 2014; HILZ; VERMEER, 2013). As condições ambientais, como velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar, são os fatores que mais contribuem para a ocorrência de deriva nas aplicações (NUYTTENS *et al.*, 2005).

2.7 Efeito da palha no comportamento das aplicações fitossanitárias

A estrutura na superfície do solo formada pela camada de palha de cana-de-açúcar, proporcionou modificações na dinâmica dos herbicidas utilizados nas aplicações, que antes eram depositados diretamente no solo e que precisam vencer a barreira de palha.

A interferência da palha da cana-de-açúcar, nas composições específicas das comunidades infestantes é atribuída aos efeitos físicos, que estão relacionados às alterações nas amplitudes das variações térmicas e hídricas do solo e à filtragem da luz que atinge a cobertura vegetal, afetando a dormência e, conseqüentemente, a germinação das plantas daninhas (TAYLORSON; BORTHWICK, 1969; FENER, 1980; EGLEY; DUKE, 1985).

A palha da cana-de-açúcar pode interceptar, bem como reter, as caldas fitossanitárias aplicadas em pré-emergência, atuando na redução da sua transposição da camada de palha para a superfície do solo e reduzindo o controle das plantas daninhas (BARROS *et al.*, 2021; MATOS *et al.*, 2016; DA SILVA, 2018).

Um estudo realizado com diferentes concentrações de herbicidas, com o objetivo de analisar a dinâmica de herbicidas no sistema solo e palha, foi possível verificar que concentrações maiores foram encontradas no solo, quando aplicados diretamente no solo sem a presença de palha. Em concordância que, a palha exerce uma barreira física, e limita a chegada do herbicida até o solo, necessitando de água para o carregamento do produto fitossanitário até o solo (MUNDT, 2021).

Um trabalho elaborado com o auxílio de corantes, para interceptação da calda de herbicida pela estrutura formada pela palha de cana-de-açúcar, comprovou que 35,5% da calda atingiram o solo coberto com 1,0 t ha⁻¹. Com a utilização de camadas mais espessas, 10 e 15 t ha⁻¹, os resultados de interceptação chegaram a atingir 99,4% e 99,5%, nesta ordem (VELINI; NEGRISOLI, 2000).

Ao utilizar uma formulação de hexazinone e diuron, Velini *et al.*, (2004) verificaram 39, 33, 14, 4 e 1% de transposição da palha para camadas uniformes com 1; 2,5; 5; 7,5; 10; 15 e 20 t ha⁻¹, respectivamente. Nesse sentido, Negrisoli *et al.*,

(2002) afirmaram que 28, 5, 1, 1, 0 e 0% do herbicida diuron passaram pelas camadas de palha de cana-de-açúcar constituídas por 2, 4, 6, 8, 10, 15 e 20 t ha⁻¹, respectivamente.

Um estudo realizado com diferentes plantas daninhas importantes na cultura da cana-de-açúcar, com a utilização de 20 t ha⁻¹ de palha, foi possível verificar o controle das espécies de plantas daninhas, reduzindo: 88% para *Merremia cissoides*, 82% para a espécie *Ipomoea quamoclit*, 70% para *Ipomoea hederifolia*, 65% para *Ipomoea purpurea*, 62% da *Ipomoea grandifolia* e 60% para *Ipomoea nil* (AZANIA *et al.*, 2002).

Em contrapartida, Belapart (2016) atestou que as espécies *Euphorbia heterophylla*, *Ipomoea nil*, *I. grandifolia* e *I. quamoclit* apresentaram menores sensibilidades com uma quantidade ainda menor, 10 t ha⁻¹ de palha, com perspectiva de redução entre 80 a 90% de emergência de plantas daninhas.

Locke e Bryson (1997) explanaram que, após um herbicida ser aplicado sobre a palha, é interceptado pela cobertura de palhada tornando-se vulnerável à volatilização e/ou fotólise, até ser lixiviado para o solo. Esse transporte é dependente das características físico-químicas do herbicida, bem como do período em que a área permanece sem chuva após a aplicação.

Ao estudarem a dinâmica do herbicida amicarbazone aplicado sobre diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar, Cavenaghi *et al.* (2007) concluíram que a quantidade de amicarbazone lixiviada pelas lâminas aplicadas variou mediante a quantidade de palha utilizada. Logo, os autores afirmaram que quantidades de palha próximas a 5 t ha⁻¹ são capazes de interceptar praticamente toda a calda de pulverização do herbicida testado, sabendo que a primeira chuva e os 20 mm de chuva iniciais são fundamentais para lixiviação do amicarbazone da palha.

Além disso, uma precipitação simulada com 30 mm aplicada sobre uma camada de palha equivalente a 12 t ha⁻¹ após 24 horas da aplicação foi determinante para levar o herbicida imazapic para os primeiros 15 centímetros de profundidade e proporcionar controle eficiente das plantas daninhas que foram estudadas (HERNANDEZ *et al.*, 2001).

Um trabalho realizado para analisar a eficácia da aplicação do herbicida diclosulam, no controle da planta daninha *Ipomoea grandifolia*, Carbonari *et al.* (2008) identificaram controle satisfatório da planta daninha, mesmo com a utilização de uma menor dose (21,8 g i.a. ha⁻¹) quando este foi aplicado na ausência e presença de palha ou seguido da ocorrência de chuvas de 30 mm. A maior dose (25,2 g i.a. ha⁻¹) também resultou em elevados níveis de eficácia de controle da planta daninha, exceto para a aplicação em palha seca e úmida sem a utilização de chuva.

Velini *et al.* (2002), analisaram a perspectiva de remoção do herbicida tebuthiuron que foi aplicado na palhada de cana-de-açúcar, utilizando duas formulações: Combine 500 SC e Perflan 800 BR, através das lâminas de chuva: 2,5; 5; 10; 20; 35; 50 e 65 mm, e mais duas simulações complementares de 20 mm em intervalos de 7 dias após as aplicações, utilizando 5, 10, 15 e 20 t ha⁻¹ de palha de cana-de-açúcar sobre o solo e diferentes umidades da palha: seco e úmido. Em conclusão, a formulação C.500 SC permitiu que fosse removido, uma média de 25% mais tebuthiuron da palha em comparação à formulação P.800 BR. No entanto, o pré-molhamento diminuiu em 44%, na média das duas formulações. Dessa forma, a partir de 20 mm de chuva houve boa remoção do herbicida, além disso, a aplicação de tebuthiuron sobre palha de cana-de-açúcar, seguida por longos períodos sem chuva reduziu a liberação deste herbicida para o solo com possível redução de eficiência no controle de plantas daninhas.

Negrisoli *et al.* (2002), concluíram que o herbicida diuron, aplicado sobre uma camada de palha de 10 t ha⁻¹ sobre à precipitação de 2,5; 5; 10; 20; 35; 50 e 65 mm, 24h após a aplicação, observaram que 8%, 19%, 31%, 41%, 50%, 65% e 59% do produto transpôs a camada, respectivamente. Utilizando o herbicida atrazina, Tofoli *et al.* (2002) determinaram que 17%, 32%, 50%, 63%, 76%, 86% e 92% do herbicida transpôs camada de palha de cana-de-açúcar equivalente a 10 t ha⁻¹, utilizando as mesmas precipitações.

A menor lixiviação de atrazina quando aplicado em resíduo fresco, com maior teor de água, se deve à maior hidrofilicidade deste resíduo em relação aos resíduos envelhecidos (SIGUA *et al.*, 1993). Medeiros e Christoffoleti (2002) estudaram o efeito de 10 e 15 t ha⁻¹ de palha, e simulação de chuva de 0, 10, 20, 30, 40 e 50 mm, aplicada 24 horas após a aplicação dos herbicidas diuron e hexazinone. Os autores concluíram

que a transposição dos herbicidas analisados através da palha de cana-de-açúcar aumenta com a ocorrência de chuvas acima de 10 mm.

Mesmo que existam avanços nas pesquisas sobre o comportamento de herbicidas na palha da cana-de-açúcar, o conhecimento e as informações sempre serão indispensáveis para o entendimento do controle das principais espécies de plantas daninhas, principalmente sobre estudos de herbicidas pré-emergentes residuais, aplicados em sistemas de produção que operam na conjuntura com a palha como cobertura morta (VELINI; NEGRISOLI, 2000).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização dos experimentos

As análises de estabilidade físico-química, condutividade elétrica, efeito de interações quanto a homogeneidade / heterogeneidade, tensão superficial, ângulo de contato e caracterização do tamanho de gotas das caldas fitossanitárias deste estudo, foram realizadas no Núcleo de Estudo e Desenvolvimento em Tecnologia de Aplicação (NEDTA), do Departamento de Fitossanidade da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Campus de Jaboticabal (21°14'S; 48°17'W Gr.).

Além disso, os métodos analíticos, as aplicações sobre a dinâmica dos herbicidas na palha da cana-de-açúcar, as análises sobre o controle e biomassa de plantas daninhas, foram realizados no Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia (NUPAM), do Departamento de Proteção Vegetal da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) – Campus de Botucatu (22°84'S; 48°42'W Gr.).

3.2 Produtos utilizados nas análises

Os tratamentos foram adotados mediante a descrição da nomenclatura para identificação dos produtos em cada tratamento, baseados em misturas reais comumente utilizadas no manejo da cultura da cana-de-açúcar, contendo produtos fitossanitários herbicidas e adjuvantes. Foram aplicadas as formulações dos herbicidas sulfentrazone (1,2 Kg/L p.c. ha⁻¹), amicarbazone (2,0 Kg p.c.ha⁻¹) e indaziflam (0,15 Kg/L p.c. ha⁻¹). Os tratamentos fitossanitários contendo as misturas de herbicidas e adjuvantes estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Composição dos produtos utilizados nas análises dos experimentos

Tratamentos	Herbicidas	Adjuvantes
1	Sulfentrazone	-
2	Sulfentrazone	Óleo mineral
3	Sulfentrazone	Espalhante adesivo
4	Sulfentrazone	Surfactante
5	Amicarbazone	-
6	Amicarbazone	Óleo mineral
7	Amicarbazone	Espalhante adesivo
8	Amicarbazone	Surfactante
9	Indaziflam	-
10	Indaziflam	Óleo mineral
11	Indaziflam	Espalhante adesivo
12	Indaziflam	Surfactante
Testemunha*	-	-

Herbicidas: Sulfentrazone (Boral®), Amicarbazone (Dinamic®) e Indaziflam (Allion®). Adjuvantes: óleo mineral (Assist®), espalhante adesivo (Agral®) e surfactante (Silwet®). *Testemunha: água.

3.3 Estabilidade de calda

A avaliação de estabilidade e compatibilidade física entre as misturas das caldas foram baseadas na metodologia na NBR 13875 (Agrotóxico – Avaliação de compatibilidade físico-química) (ABNT, 2014).

Foram realizadas quatro repetições por tratamento. O preparo das caldas foi executado com o reagente água-padrão com dureza total de 20 mg.kg⁻¹ em equivalente de CaCO₃, preparada de acordo com a NBR 13074 (ABNT, 1997). Em seguida adicionou-se os produtos, conforme recomendado na bula de cada produto.

Foram utilizadas provetas graduadas de 250 mL com tampa; peneira de tecido metálico com abertura nominal de 149 µm em concordância com a NBR NM-Isso 3310-1 (ABNT, 2010); pipeta graduada. Posteriormente, a proveta foi tampada e invertida 10 vezes, para obtenção de uma boa homogeneização (Figura 2).

Figura 2 – Ilustração da estabilidade de calda dos tratamentos analisados

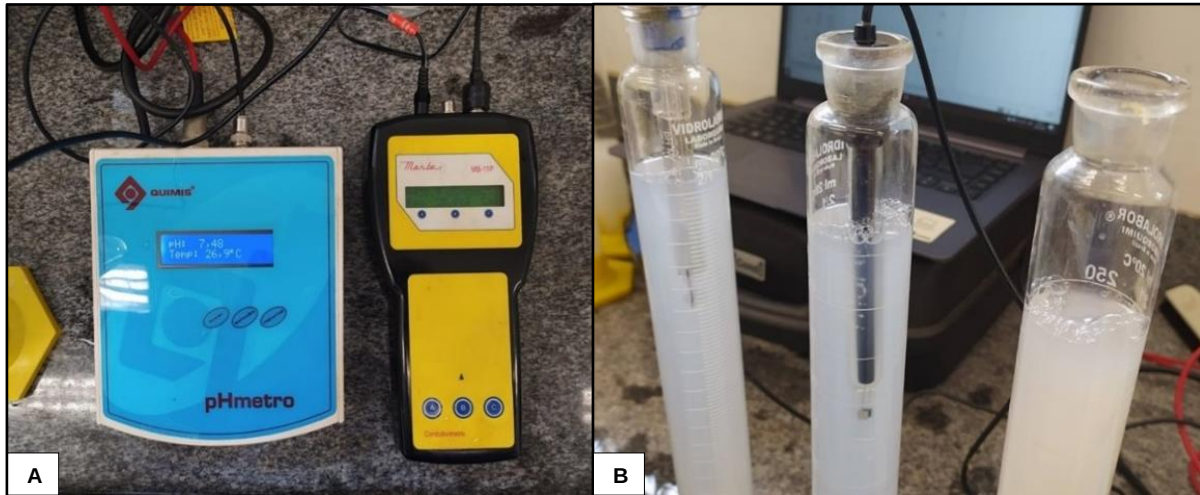


As caldas foram avaliadas nos seguintes intervalos: separação imediata após a mistura (0) e após 2, 6 e 24 horas em período de repouso. Foram observados os possíveis efeitos das interações entre os produtos quanto a homogeneidade/heterogeneidade, sendo: floculação; sedimentação; separação de fases; suspensão de óleo; formação de grumos; formação de cristais; formação de creme e formação de espuma (ABNT, 2014).

3.4 Avaliação da condutividade elétrica das caldas

A condutividade elétrica foi determinada com auxílio do condutímetro MP11P da marca Marth®, aferido e seguindo a mesma ordem de calibração. Foram realizadas quatro análises/repetições para cada tratamento (Figura 3).

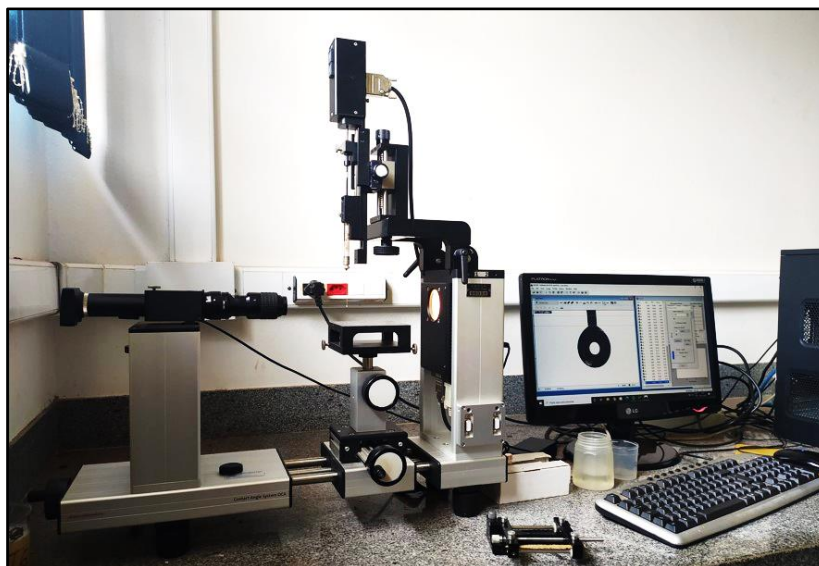
Figura 3 – Condutivímetro utilizado nas análises dos produtos (A). Leitura físico-química das caldas (B)



3.5 Tensão superficial e ângulo de contato

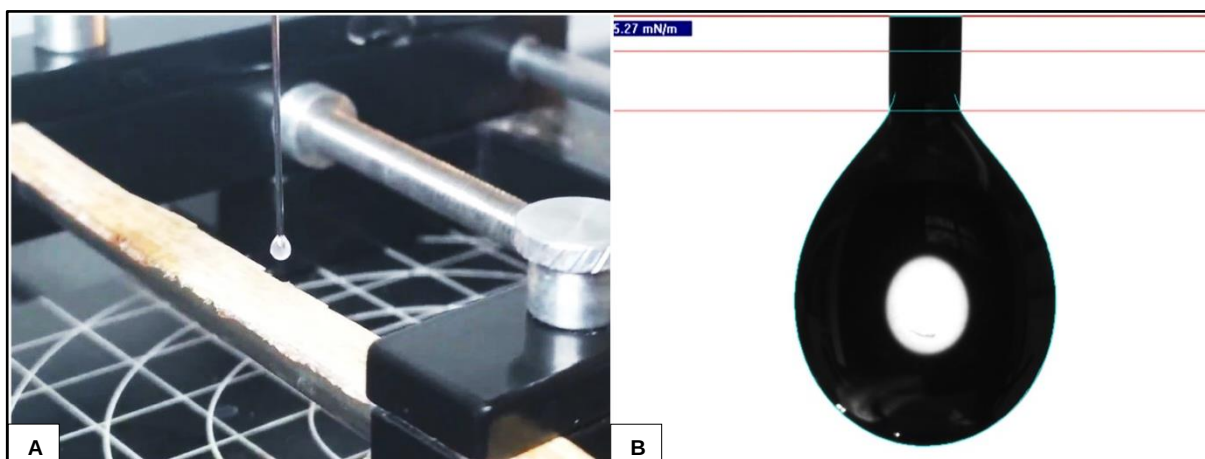
No processo das avaliações da tensão superficial, as caldas foram preparadas com água residual, com as doses máximas recomendadas para cada produto. As avaliações da tensão superficial e do ângulo de contato foram realizadas no equipamento tensiômetro (Contact Angle System OCA-15 Plus da Dataphysics Germany) (Figura 4).

Figura 4 – Equipamento tensiômetro utilizado nas avaliações de tensão superficial e o ângulo de contato das gotas



Neste equipamento, a tensão foi determinada pelo método da gota pendente. As gotas foram formadas em uma seringa de precisão de 500 μL da marca Hamilton®, a imagem da gota ficava suspensa no final da agulha e focada pela lente de uma câmera CCD de alta resolução temporal e definição com 300 poses s^{-1} , e definição com o software SCA20® e enviada para processamento, analisando o seu formato através da assimetria dos eixos (Figura 5).

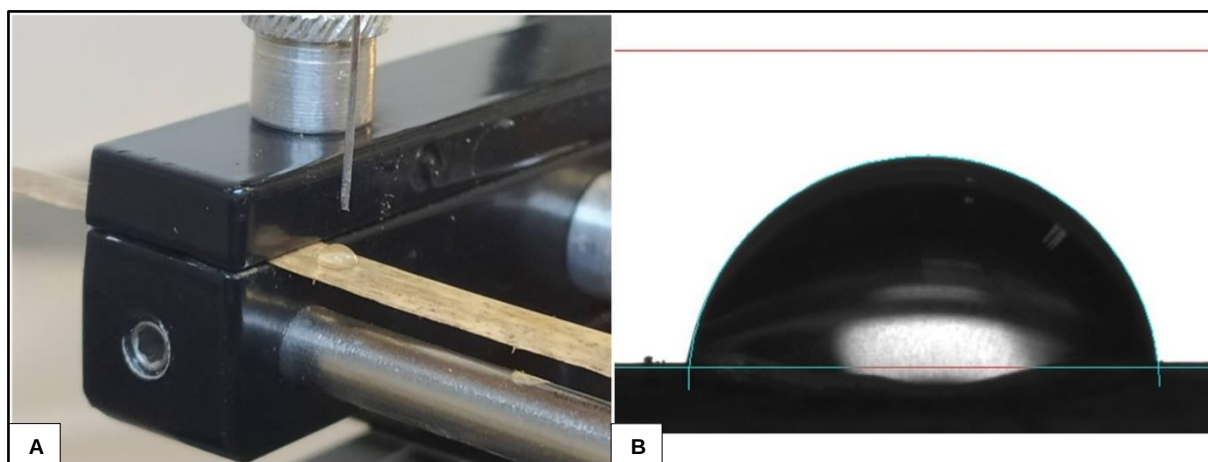
Figura 5 – Tensão superficial e análise de formação de gotas com a utilização do equipamento tensiômetro (A). Imagem capturada através do método de gota pendente, pelo software SCA20® (B)



A tensão superficial foi determinada a partir da equação de Young-Laplace: $\Delta P = 2\gamma / R$, onde ΔP é a variação de pressão entre superfícies, γ é a tensão superficial e R é o raio de curvatura da gota. Dessa maneira, 60 imagens foram capturadas a cada minuto.

Para a avaliação do ângulo de contato, o mesmo equipamento foi utilizado, também a partir da análise de imagens. A base para distribuição da gota foi a palhada da cana-de-açúcar cortada em fitas, utilizada como superfície para os produtos (Figura 6).

Figura 6 – Análise de espalhamento de gotas com a utilização do equipamento tensiômetro (A). Imagem capturada do ângulo de contato do produto com a superfície de palha da cana-de-açúcar, pelo software SCA20® (B)



Os valores das tensões superficiais (gota pendente) e os ângulos de contato foram obtidos aos 5, 10, 20, 40 e 60 segundos da formação / deposição das gotas.

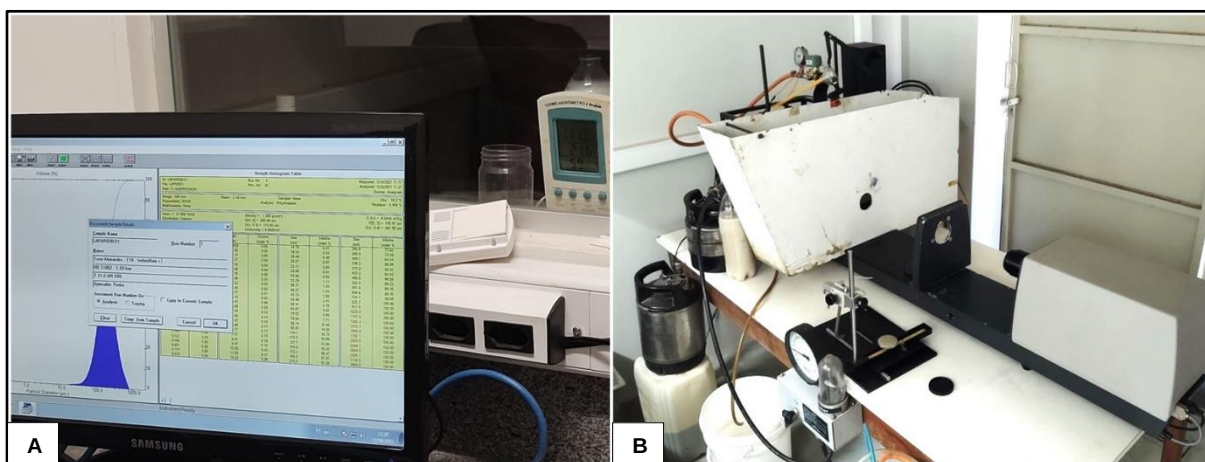
As médias de temperatura e umidade relativa durante as leituras foram de 27, 5 ± 2 °C e 48% ± 2 , respectivamente.

3.6 Espectros do tamanho de gotas

Para avaliação do tamanho de gotas, foram utilizados dois litros de calda de pulverização mediante cada tratamento. As caldas foram preparadas antes das análises com a utilização de água da rede de abastecimento.

O diâmetro das gotas foi determinado por difração de raios laser, para obtenção do tamanho de partículas suspensas no ar e durante a passagem das gotas pulverizadas pela região de amostragem, utilizando o equipamento Mastersizer-S (Malvern Instruments Co.), ajustado para avaliar gotas de até 1000 μm (Figura 7).

Figura 7 – Difrator de raios laser para determinação do tamanho de partículas suspensas no ar



O equipamento utiliza o sistema de difração a laser para mensurar o tamanho da partícula e a distribuição do tamanho das partículas dos materiais. Para tal propósito, ele mede a intensidade da luz espalhada à medida que um feixe de laser interage com as partículas dispersas da amostra.

Foi instalado um transportador radial posicionado a 40 cm do feixe do laser de acordo com as normas da FAO (1988). A pulverização foi acionada com ar comprimido

e mantida a pressão constante de 300 kPa com vazão de 0,3 L min⁻¹ na ponta. As leituras foram realizadas mediante a utilização da ponta de pulverização XR 11002.

O equipamento conta com um exaustor (tipo coifa) que fica localizado sobre o Mastersizer para retirar as partículas em suspensão, impedir deposições sobre a lente do aparelho ou duplas leituras do laser, impossibilitando o comprometimento da exatidão da análise (FERREIRA *et al.*, 2007).

A decodificação dos dados, segundo o algoritmo elaborado para a caracterização do diâmetro das gotas por difração de raio laser foram processados e tabelados diretamente pelo programa Mastersizer S®, versão 2.19.

Os parâmetros considerados para caracterização do espectro de gotas foram o DMV - Diâmetro Mediano Volumétrico (Dv0,5 equivalentes ao diâmetro de 50% do volume acumulado), diâmetro da gota sendo que metade do volume do líquido pulverizado seja constituído de gotas de tamanho maior ou menor que este valor, V%<100 (percentual de gotas menores que 100 µm, a porcentagem de gotas menores a este tamanho são mais susceptíveis à deriva), DV10 (Diâmetro que representa 10% de gotas menores) e DV90 (Diâmetro que representa as 10% maiores gotas) e Span (Coeficiente de Uniformidade de gotas). Para a determinação do coeficiente de uniformidade utilizou-se a equação:

$$\text{Coef / Span} = \frac{(\text{DV90} - \text{DV10})}{\text{DMV}}$$

Nos quais, DV10, DMV e DV90 descrevem os tamanhos de gotas para 10%, 50% e 90% do volume aspergido. Em vista disso, quanto mais próximo de zero o valor Span, mais uniforme será a amostra de gotas de pulverização.

Os produtos foram preparados através do volume de calda de dois litros para cada tratamento. As caldas foram preparadas momentos antes de serem pulverizadas, com o intuito de evitar qualquer interferência do tempo entre o preparo e a utilização da calda na estabilidade física e química das soluções. As caldas foram agitadas antes das aplicações para obtenção de uma melhor homogeneização.

3.7 Dinâmica de herbicidas na palha da cana-de-açúcar

O experimento foi efetuado para avaliar os efeitos das variadas quantidades de resíduos da colheita de cana-de-açúcar e uma lâmina de chuva (20 mm) na dinâmica dos herbicidas sulfentrazone, amicarbazone e indaziflam isolados, e em misturas com os adjuvantes Assist, Agral e Silwet. A experimentação foi aplicada em delineamento inteiramente casualizado, totalizando doze tratamentos e quatro repetições, seguindo a ordem anterior da Tabela 2.

As unidades experimentais utilizadas neste estudo foram constituídas por cápsulas de material plástico com cinco centímetros de diâmetro. Essas pequenas estruturas foram utilizadas para acomodar a palha de cana-de-açúcar que irá receber a deposição dos herbicidas (Figura 8-A) e a simulação da lâmina de chuva (Figura 8-C).

A lâmina de chuva que atingiu cada unidade experimental foi drenada para a parte de baixo da cápsula, onde foi coletada através de tubo para centrífuga de 50 mL de material plástico, conforme a Figura 8-B.

Figura 8 – Unidades experimentais utilizadas para as aplicações. Ilustrações das cápsulas preparadas para as aplicações das caldas fitossanitárias (A) e para a aplicação da lâmina de chuva (C)

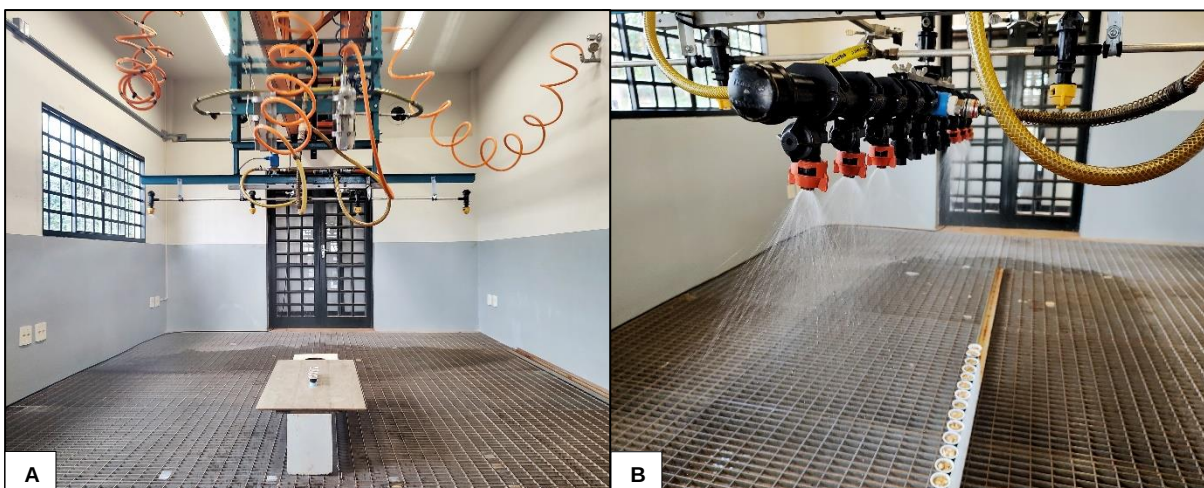


Para evitar sobreposição de produtos, pelas bordas das cápsulas, foi utilizado papel alumínio recobrindo as laterais do recipiente antes das aplicações das caldas. O papel foi retirado logo após as aplicações dos produtos para receberem a aplicação da lâmina de chuva.

Foi utilizada palha procedente de uma área de produção de cana-de-açúcar (cultivar RB867515), coletada posteriormente a colheita. Esse material foi conduzido a secagem em estufa de circulação de ar forçada para obtenção do peso constante. Seguidamente, a palha foi cortada em retalhos de 2 a 3 cm. Cada amostra experimental recebeu uma quantidade equivalente a 10 ha⁻¹ (proporcionalmente, em relação ao tamanho da cápsula uma quantidade de 1,62 g) de palha da cana-de-açúcar.

As aplicações foram executadas em um equipamento de pulverização e simulação de chuva, em ambiente fechado. A estrutura é constituída de material metálico, com dimensões de 3 m de altura e 2 m de largura, que permite a junção com uma estrutura móvel que se movimenta por uma área de aproximadamente 12 m², no sentido do comprimento do equipamento. O equipamento foi adaptado para a realização das aplicações de caldas fitossanitárias (Figura 9-A) e simulação de chuva (Figura 9-B).

Figura 9 – Pulverizador estacionário com as unidades experimentais no momento da aplicação. A – aplicação das caldas fitossanitárias, B – aplicação da lâmina de chuva (20 mm)



Apesar de compartilharem o mesmo equipamento e funções de controle, os sistemas de pulverização e simulação de chuva apresentam funcionamento independente.

O tracionamento do sistema é constituído por um motor elétrico ligado a correntes e engrenagens, que promovem controle de velocidades constantes e previamente determinadas, de acordo com ajuste de um modulador de frequência.

Para as aplicações das caldas fitossanitárias, foi adaptada uma barra de pulverização comportando quatro bicos contendo quatro pontas de pulverização XR 110.02 vs (Teejet, Spraying Systems CO), com espaçamento de 0,5 m entre pontas e posicionadas a 0,5 m de altura em relação ao alvo (superfície das unidades experimentais).

Ainda sobre as aplicações das caldas fitossanitárias, o sistema foi produzido com deslocamento de 1 m s^{-1} ($3,6 \text{ km h}^{-1}$), correspondendo a 45 hertz no modulador de frequência, pressurizado por ar comprimido a uma pressão constante de 150 kPa, mantendo-se o consumo de calda equivalendo a 200 L ha^{-1} . As condições no momento da aplicação foram monitoradas, e a temperatura encontrava-se em 25°C , com umidade relativa do ar de 80%.

Mais adiante, 24 horas após as aplicações das caldas contendo as misturas de herbicidas, as amostras de palha receberam uma aplicação de lâmina de chuva de 20 mm.

A barra, elaborada para simulação de chuva, foi constituída por oito bicos com pontas de pulverização de jato plano uniforme DG 9505 EVS (Teejet, Spraying Systems CO), espaçados 0,5 m entre si e a 1,20 m de altura em relação à superfície das unidades experimentais, com o intuito de manter uma melhor uniformidade da precipitação simulada na área aplicada.

O deslocamento do sistema foi realizado com velocidade de $3,16 \text{ m min}^{-1}$ (equivalente a 2,5 hertz no modulador de frequência) e a pressão de trabalho, de $0,81 \text{ kgf s}^{-2}$. Essas especificações possibilitaram a formação de gotas de diâmetro mediano volumétrico (DMV) de $349 \text{ }\mu\text{m}$. De acordo com as determinações fornecidas pelo fabricante das pontas de pulverização.

Para a obtenção dos dados das massas das soluções que passaram pela palha, foram elaboradas pesagens dos tubos de 50 mL antes das aplicações (vazios) (Figura 10-A) e pesagens dos mesmos tubos (cheios) após as aplicações dos produtos e da lâmina de chuva de 20 mm (Figura 10-B). Em vista disso, o cálculo da diferença do valor do tubo cheio com o valor do tubo vazio resulta-se na solução que passou pela palha / cápsula. As pesagens foram elaboradas em balança analítica e de precisão da marca Ohaus AR2140 de 210 g x 0,0001 g.

Figura 10 – Determinação das massas das soluções que passaram pela palha.

A – pesagem dos tubos vazios, B – pesagem dos tubos cheios



A solução que passou pela composição de palha em cada unidade experimental, através da aplicação da lâmina de chuva de 20 mm, em de tubos de 50 mL (Figura 11-A), foi coletada e diluída 10 vezes em frascos do tipo “vials” de volume 1,5 mL, tipo rosca, 9 mm (Figura 11-B). Posteriormente essa solução foi condicionada para análises de cromatografia e espectrometria de massas para determinação das concentrações de cada um dos ingredientes ativos. As quantidades foram acumuladas para determinar as curvas de saída do composto em função das lâminas de chuva.

Figura 11 – Soluções para o preparo das amostras para quantificação dos herbicidas por cromatografia líquida de alta performance (HPLC) e espectrometria de massas. A - solução que passou pela palha, B - solução diluída 10 vezes



3.8 Métodos analíticos para quantificação dos herbicidas

Foram elaboradas as quantificações dos herbicidas sulfentrazone, amicarbazone, indaziflam. Essas análises foram realizadas através de um sistema LC-MS/MS, composto por um cromatógrafo líquido de alta eficiência (HPLC), modelo Proeminence UFLC (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan), que combina análise ultrarrápida e excelente performance de separação, com alta confiabilidade de resultados, equipado com duas bombas LC-20AD, autoinjeter SIL-20AC, degazeificador DGU-20A5, sistema controlador CBM-20A (permite a operação automatizada) e forno CTO-20AC (para controle da temperatura da coluna). O sistema foi acoplado ao HPLC, um espectrômetro de massas Triple Quad 4500 (AB Sciex), híbrido triplo quadrupolo, no qual Q1 e Q3 foram utilizados como filtros de massa, sendo Q2 uma célula de colisão na qual as moléculas intactas e fragmentos de Q1 foram quebrados em menores fragmentos de massas (Figura 10).

Figura 12 – Cromatógrafo líquido (Proeminence UFLC) acoplado ao espectrômetro de massas (Triple Quad 4500) – LC-MS/MS



Para o modo de operação, foi empregado o monitoramento de reações múltiplas (MRM). Já para o método cromatográfico e das curvas de calibração, foram utilizados padrões analíticos com alto grau de pureza (Bayer CropScience, Alemanha) e a composição da fase móvel para a separação cromatográfica foi simulada em diferentes vazões e composições.

Para aperfeiçoar as condições do espectrômetro de massas, foram realizadas injeções no espectrômetro de massas contendo solução analítica padrão de 1 mg L^{-1} de cada composto. Posteriormente, foi escolhido o modo de ionização da fonte (ionização por eletrospray – ESI), que produz íons do analito na fase líquida antes da entrada no espectrômetro de massas. Para cada um dos compostos foi determinada a curva analítica, a linearidade, o limite de detecção e quantificação, a precisão (repetibilidade e precisão intermediária) e a exatidão (RIBANI *et al.*, 2004; LANÇAS, 2004).

As condições cromatográficas utilizadas para avaliação dos compostos no modo de ionização negativo e positivo estão demonstradas na tabela 3.

Tabela 3 – Condições cromatográficas utilizadas para quantificação dos produtos

Coluna analítica	Synergi 2,5 µ Hydro RP 100 Å
Fase móvel (pH 7,0)	Fase A (FA) = 0,5% ácido acético em água Fase B (FB) = 0,5% ácido acético em metanol
Gradiente	0 – 1 minuto = 50% FB e 50% FA
	1 – 3 minutos = 95% FB e 5% FA
	3 – 6 minutos = 95% FB e 5% FA
	6 – 8 minutos = 50% FB e 50% FA
	8 – 10 minutos = 50% FB e 50% FA
Fluxo	0,60 mL min ⁻¹
Temperatura do forno	40 °C

A massa molecular e os fragmentos formados com base de cada molécula estão descritos na tabela 4. A detecção e a separação dos compostos foram realizadas em uma única corrida para os modos de ionização negativo e positivo (10 minutos). Nas Figuras 13, 14 e 15 estão apresentados, respectivamente, os cromatogramas do sulfentrazone, amicarbazone e indaziflam.

Tabela 4 – Massa molecular, íons secundários e tempo de retenção na coluna dos compostos analisados

Produto	Massa molecular	Íons secundários (fragmentos)	Tempo de retenção (min)
Sulfentrazone	386,950	110,2	6,29
		146,1	
		273,1	
Amicarbazone	505,308	165,3	6,63
		264,2	
		183,3	
Indaziflam	301,37	158,1	5,44
		138,0	
		145,0	

Figura 13 – Cromatograma obtido para o herbicida sulfentrazone e os respectivos fragmentos na concentração de 50 µg L⁻¹

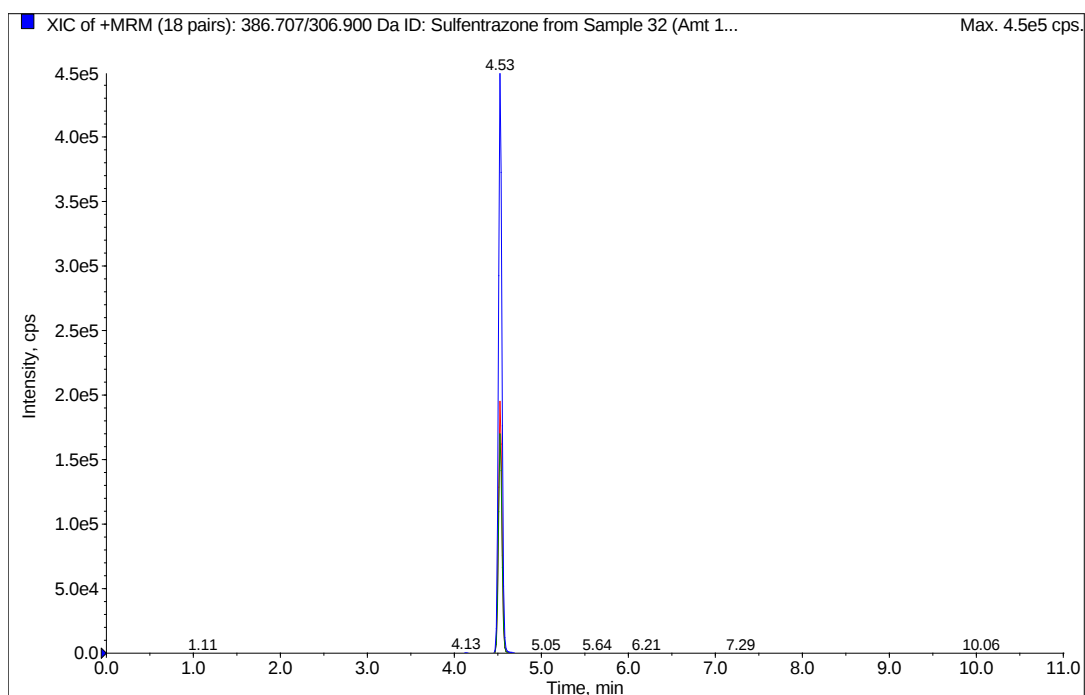


Figura 14 – Cromatograma obtido para o herbicida amicarbazone e os respectivos fragmentos na concentração de 50 $\mu\text{g L}^{-1}$

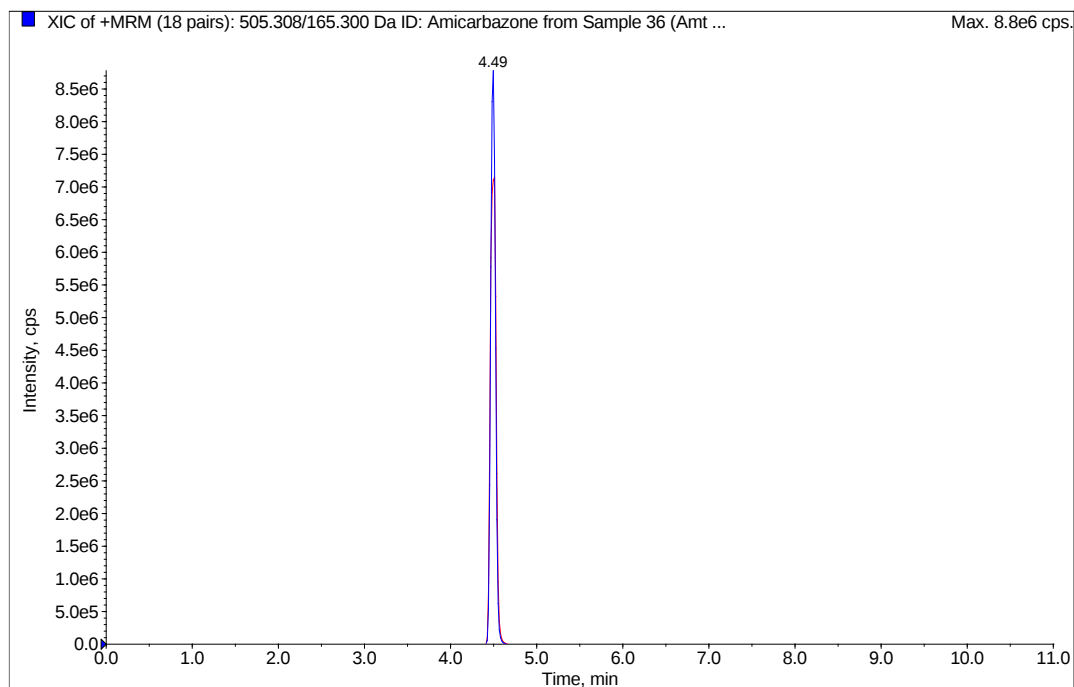
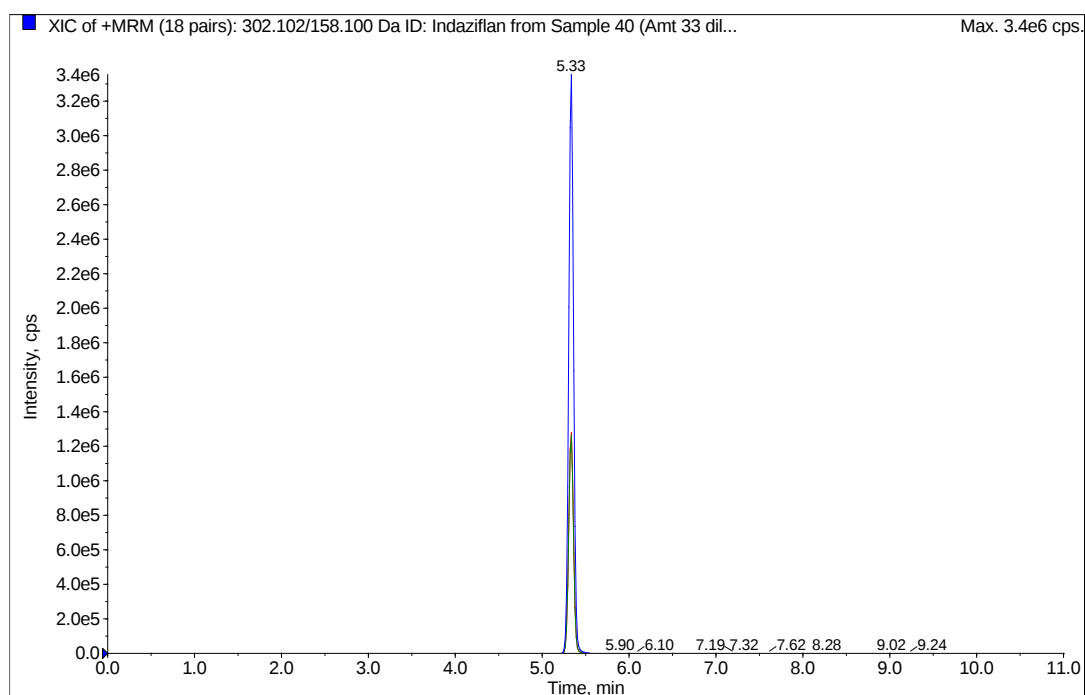


Figura 15 – Cromatograma obtido para o herbicida indaziflam e os respectivos fragmentos na concentração de 50 $\mu\text{g L}^{-1}$



Para a quantificação dos produtos foram elaboradas curvas analíticas com sete níveis de concentração, nas quais cada ponto foi injetado em triplicata ($n = 3$). Foi determinada uma relação linear de primeira ordem entre a resposta do detector (y) e a concentração (x) dos analitos em estudo, sendo representada pela equação abaixo:

$$y = ax + b$$

* b = intersecção da curva analítica, a = inclinação da reta.

3.9 Controle de plantas daninhas

3.9.1 Condução experimental

Os experimentos foram conduzidos e avaliados em casa de vegetação. Foram analisadas duas espécies de plantas daninhas: *Brachiaria decumbens* e *Ipomoea grandifolia*, popularmente conhecidas como capim-braquiária e corda-de-viola, respectivamente. As sementes foram armazenadas em local sem a presença de luz e com baixa umidade para que não houvesse redução da viabilidade.

Foi utilizada palha da cana-de-açúcar que, seguidamente, foi cortada em retalhos de 2 a 4 cm. Cada amostra experimental recebeu uma quantidade equivalente a 10 t ha^{-1} (proporcionalmente, em relação ao tamanho do vaso) de palha da cana-de-açúcar.

As plantas daninhas foram semeadas em vasos de material plástico quadrado com capacidade para 2 L. Foram adicionados cortes quadrados de papéis, em uma proporção de 10 x 10 cm e acrescentados no fundo dos vasos, com o intuito de evitar perdas de solo através dos furos. Em seguida os vasos foram preenchidos com solo peneirado, para homogeneização dos atributos a 2/3 de profundidade, sendo mantido

bordas a 4 cm e as sementes foram semeadas separadamente em pequenas trincheiras no centro do vaso.

A quantidade de sementes utilizadas em cada vaso, foi somada mediante uma proporção de distribuição dessas sementes, até que formassem uma determinada lâmina superficial na parte central dos vasos. A média da pesagem das sementes de *B. decumbens* totalizou em 0,713 g e 0,571 g para *I. grandifolia*. Cada vaso recebeu a quantidade total das duas sementes de plantas daninhas, que foram misturadas e distribuídas de forma aleatória com uma pequena quantidade de solo na parte central dos vasos, com o auxílio de uma régua em formato quadrangular para facilitar a distribuição e homogeneização das duas espécies no mesmo vaso.

3.9.2 Aplicação dos tratamentos

As aplicações das caldas fitossanitárias foram realizadas com o auxílio de um sistema de pulverização adaptado em laboratório, através de barra de pulverização comportando quatro bicos contendo quatro pontas de pulverização XR 110.02 vs, com espaçamento de 0,5 m entre pontas e posicionadas a 0,5 m de altura em relação a superfície dos vasos. Essa combinação do equipamento de pulverização promoveu a simulação real das aplicações convencionais, através do monitoramento do controle de velocidade e pressão de trabalho (Figura 16).

O sistema foi produzido com deslocamento de 1 m s^{-1} ($3,6 \text{ km h}^{-1}$), pressurizado por ar comprimido a uma pressão constante de 150 kPa, mantendo-se o consumo de calda equivalendo a 200 L ha^{-1} . As condições durante as aplicações foram monitoradas, mantendo a temperatura em torno de 27°C , e umidade relativa do ar de 58 %.

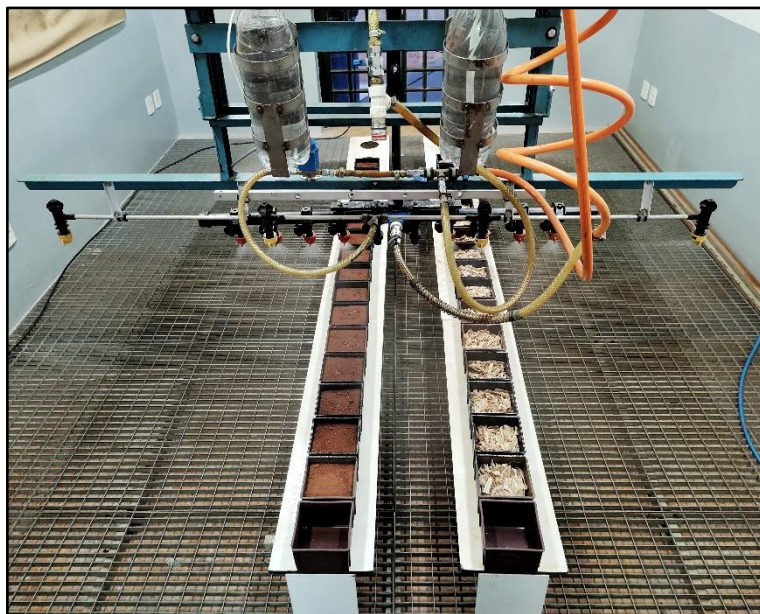
Figura 16 – Pulverizador estacionário com as unidades experimentais no momento da aplicação das caldas fitossanitárias



Após as aplicações das caldas, no período de 24 horas, os tratamentos receberam aplicação de uma lâmina de 20 mm de chuva. Essa simulação foi realizada com o mesmo sistema de pulverização adaptado, por intermédio de uma segunda barra fixada ao equipamento de pulverização, constituída por oito bicos com pontas de pulverização de jato plano uniforme DG 9505 EVS, espaçados 0,5 m entre si e a 1,20 m de altura em relação à superfície dos vasos, com o intuito de manter uma melhor uniformidade da precipitação simulada na área aplicada (Figura 17).

O deslocamento do sistema foi realizado com velocidade de $3,16 \text{ m min}^{-1}$ e a pressão de trabalho, de $0,81 \text{ kgf s}^{-2}$. Essas especificações possibilitaram a formação de gotas de diâmetro mediano volumétrico (DMV) de $349 \text{ }\mu\text{m}$. De acordo com as determinações fornecidas pelo fabricante das pontas de pulverização.

Figura 17 – Pulverizador estacionário com as unidades experimentais no momento da aplicação da lâmina de chuva (20 mm)



A água utilizada para simulação de chuva foi procedente do sistema de abastecimento sanitário do próprio laboratório. Para evitar sobreposição de produtos, pelas bordas dos vasos, foi utilizado papel alumínio recobrindo as laterais dos vasos antes das aplicações das caldas.

O papel foi retirado logo após as aplicações das caldas fitossanitárias, para receberem a aplicação da lâmina de chuva de 20 mm.

Após as aplicações, os vasos foram levados para casa de vegetação e foram adaptados sobre bandejas de alumínio contendo água residual, com o propósito de manter a umidade do solo (Figura 18). Em vista disso, o molhamento dos vasos foi realizado de forma manual, diariamente, através do preenchimento de água nas bandejas, se necessário.

Figura 18 – Distribuição dos vasos em casa de vegetação, após as aplicações das caldas fitossanitárias e lâmina de chuva (20 mm)



3.9.3 Características do experimento e seus tratamentos

O experimento foi efetuado para julgar os efeitos das variadas quantidades de resíduos da colheita de cana-de-açúcar através da utilização de uma lâmina de chuva (20 mm), sobre caldas fitossanitárias contendo misturas de herbicidas e adjuvantes, no controle de *B. decumbens* e *I. grandifolia*, na presença e ausência da palha da cana-de-açúcar.

A experimentação foi aplicada em delineamento inteiramente casualizado, com a utilização de doze tratamentos e quatro repetições, seguindo a ordem anterior, da mesma Tabela 2.

3.9.4 Avaliação de controle

Foram realizadas avaliações de controle das plantas daninhas, semanalmente de forma visual, atendendo a escala de notas da *Asociación Latino Americana de Malezas* (ALAM, 1974), durante o período de 28 dias. Nestas avaliações, foram atribuídas notas de controle que variaram de 0 a 100%, em que 0 (zero) não ocorreu controle e 100% ocorreu controle total das plantas. As avaliações visuais foram realizadas, semanalmente, no 7º, 14º, 21º e 28º dia após a aplicação da lâmina de chuva (Tabela 5).

Tabela 5 – Escala de avaliação visual proposta pela Asociación Latinoamericana de Malezas

Percentual de controle (%)	Denominação
0 - 40	Nenhum / pobre
41 - 60	Regular
61 - 70	Suficiente
71 - 80	Bom
81 - 90	Muito bom
91 - 100	Excelente

Fonte: Asociación Latinoamericana de Malezas (1974)

3.9.5 Determinação da massa seca da parte aérea das plantas daninhas

Após a última análise visual (28 DAA), foi realizado o corte da parte aérea das plantas daninhas emergidas, esses materiais foram coletados e colocados em sacos de papel do tamanho, e conduzidos para secagem em estufa de ar forçada, através da temperatura de 65 °C, até atingir massa constante, durante 72 horas. Nessa ordem, os materiais foram contabilizados e pesados através de balança analítica, para obtenção dos dados de biomassa seca.

3.9.6 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo às médias comparadas pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$), além dos dados da diferença mínima significativa (DMS). Os resultados foram expressos em porcentagem dos valores observados em comparações ao tratamento testemunha. O software utilizado para a realização da estatística foi o Sisvar versão 5.8 (FERREIRA, 2018)

4 RESULTADOS

4.1 Análise de estabilidade de caldas dos tratamentos

A associação de produtos fitossanitários pode ocasionar resultados inesperados como sinergismo, adição ou antagonismo mediante a incompatibilidade físico-química.

Essas misturas podem melhorar a textura das caldas, além de melhorar a eficiência no controle fitossanitário das aplicações, mas podem ocasionar perdas e diminuição da eficiência das aplicações. Desse modo, foram identificadas alterações nas qualidades físico-químicas das caldas, que não considerassem incompatibilidade de caldas, nos horários avaliados.

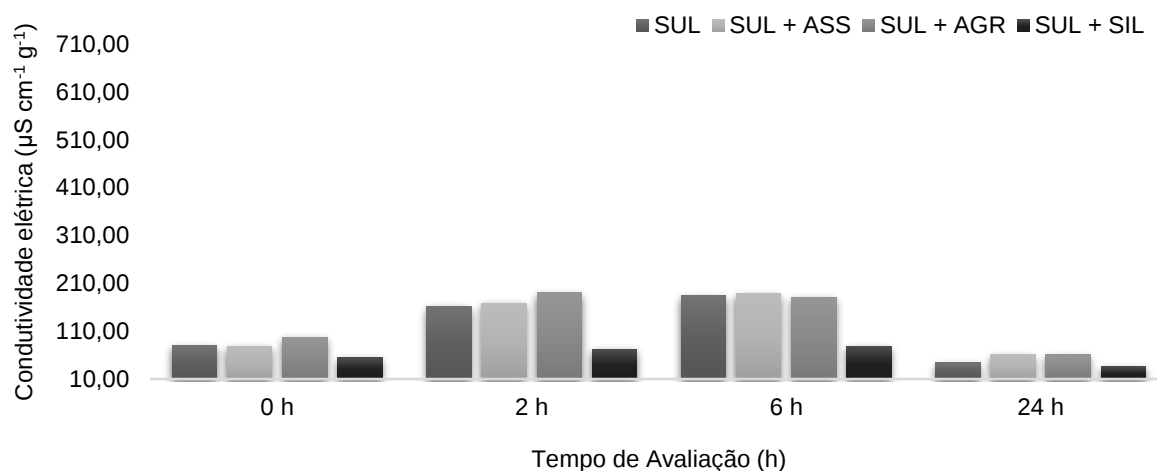
4.1.1 Condutividade elétrica

As condutividades elétricas das caldas fitossanitárias variaram de acordo com as diferentes propriedades físico-química dos herbicidas em análise.

A presença do espalhante adesivo nas soluções influenciou na manutenção e equilíbrio dos valores das caldas fitossanitárias dos herbicidas em estudo, em comparação com a forma isolada desses produtos, com a utilização apenas dos herbicidas nas caldas fitossanitárias.

Foi conferida de forma imediata (0 horas), após o preparo das caldas, que o herbicida sulfentrazone de forma isolada alcançou o valor de 79,2 e ao longo do tempo, nas últimas 24 horas, obteve redução para o valor de 44,3. Esse mesmo herbicida em mistura com espalhante adesivo iniciou a análise com valor de 97,3, e ao longo do tempo reduziu, na mesma proporção, para o valor de 60,9 (Figura 22).

Figura 19 – Valores da condutividade elétrica dos tratamentos referente ao herbicida sulfentrazone, nos tempos analisados (0h, 2h, 6h e 24h)

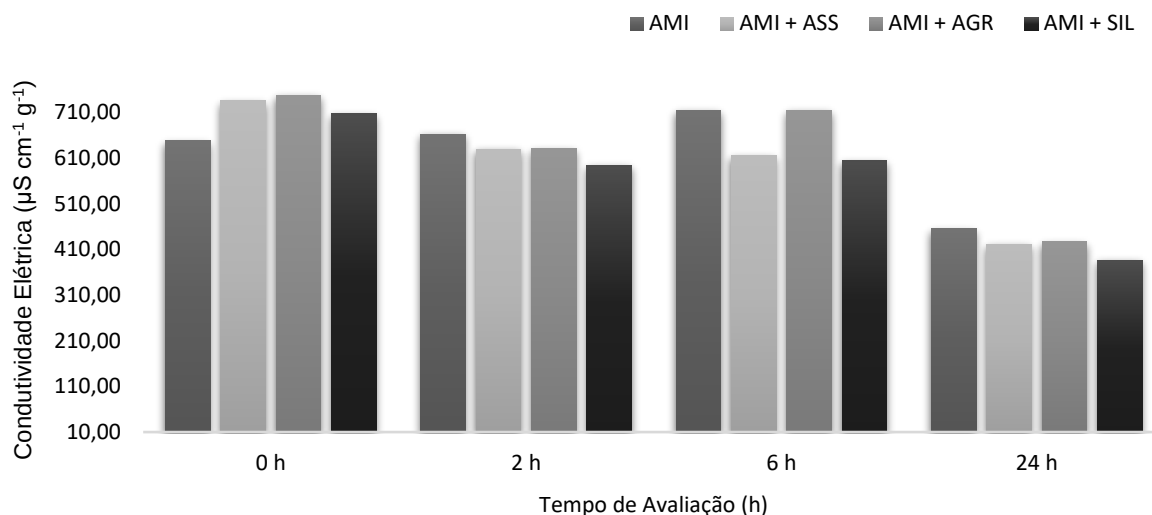


O mesmo aconteceu, de forma parcial, com o herbicida amicarbazone, esse herbicida, na sua forma isolada, iniciou com valor de 647,8 e, nas últimas 24 horas, reduziu para 455,1. Após a mistura com o espalhante adesivo, diferente da forma isolada no início, com valor de 747,3, essa mistura, no decorrer do tempo, reduziu para 426,5. Dessa forma, se aproximando dos resultados da forma isolada do herbicida amicarbazone (Figura 20).

A utilização do óleo mineral e do espalhante adesivo, nas soluções, não interferiram na condutividade elétrica dos tratamentos em suas misturas, diferindo apenas da forma isolada dos herbicidas.

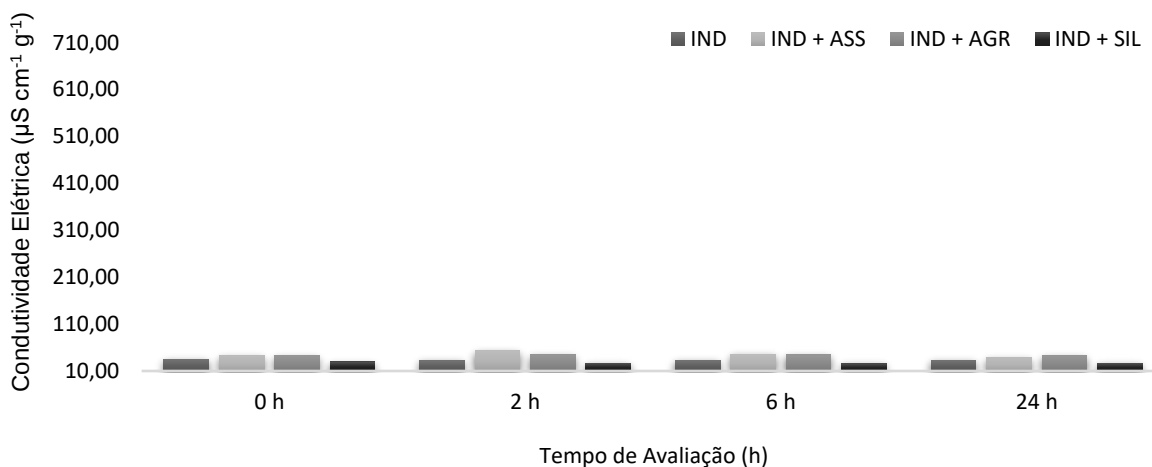
Os herbicidas que sofreram menores variações foram: amicarbazone na presença de adjuvantes e o herbicida indaziflam na presença de adjuvantes e através da sua forma isolada. Portanto, embora se verifique uma redução dos valores ao longo do tempo, estas variações, porventura, não interferiram na funcionalidade dos produtos analisados.

Figura 20 – Valores da condutividade elétrica dos tratamentos referente ao herbicida amicarbazone, nos tempos analisados (0h, 2h, 6h e 24h)



O herbicida indaziflam, na sua forma isolada, alcançou o valor de 35,2, no início da análise e ao longo do tempo, nas últimas 24 horas obteve redução do valor para 33,2. Esse herbicida em mistura com espalhante adesivo, iniciou a análise com valor de 43,0, e após 24 horas reduziu para 42,0. Desta maneira, manteve o equilíbrio inicial das soluções, conforme a Figura 21.

Figura 21 – Valores da condutividade elétrica dos tratamentos referente ao herbicida indaziflam, nos tempos analisados (0h, 2h, 6h e 24h)



4.1.2 Efeito de interações quanto a homogeneidade / heterogeneidade dos produtos

Um dos grandes problemas no controle químico de plantas daninhas está relacionado ao desconhecimento das interações entre herbicidas, inicialmente no preparo dos produtos e, conseqüentemente, reduzindo a eficácia e levando a incompatibilidade dos produtos. Esse problema ocorre devido à inviabilização da aplicação ou inativação do ingrediente ativo pela formação de precipitados, sedimentação, separação de fase etc., sendo determinante aos fatores de solubilidade, complexação, carga iônica etc.

Portanto, as caldas fitossanitárias sofreram modificações físico-químicas em pelo menos um momento das leituras de análises. Levando em consideração a floculação e a suspensão em óleo, não houve, em nenhum momento de análise, as devidas modificações físico-químicas dos herbicidas de forma isolada, tampouco, em misturas com adjuvantes. As características físico-química de caldas dos herbicidas estão descritas nas Tabelas 6, 7 e 8.

Em relação a formação de grumos, foram presentes as formações nas caldas contendo o herbicida indaziflam em misturas com os 3 adjuvantes em estudo (Assist, Agral e Silwet)

As caldas sofreram formações de sedimentação em pelo menos dois horários de análises (Figura 22-A), com exceção do herbicida amicarbazone de forma isolada e do herbicida indaziflam somado com as misturas do óleo mineral e com a mistura do espalhante adesivo, esses tratamentos apresentaram sedimentação apenas nas últimas 24 h. Os demais tratamentos tiveram sedimentação das caldas nas últimas 24 de análise e em outros períodos de análises.

O herbicida sulfentrazone sofreu modificação de alteração de fases, apenas no último período de análise (24 h), em misturas com o óleo mineral. Já o herbicida amicarbazone sofreu modificações de alterações de fases em todos os seus tratamentos, de forma isolada e em misturas com adjuvantes, nas últimas 24 horas de análise. No entanto, não houve, em nenhum momento de análise a separação de fases do herbicida indaziflam.

Foram identificados cristais nas soluções, de forma parcial: em todos os tratamentos com a utilização do herbicida sulfentrazone, após as 24 horas; apenas nas 24 horas do herbicida amicarbazone de forma isolada e em todos os tratamentos do herbicida indaziflam, também em seu último momento de análise após as 24 horas, acrescentando o indaziflam de forma isolada, este sofreu o aparecimento de cristais logo após as 2 horas de análise seguindo até o último momento (6 h e 24 h) (Figura 22-B).

Além disso, foi possível visualizar formação de creme nas caldas do herbicida sulfentrazone com as misturas de óleo mineral e espalhante adesivo, ambos entre 2 e 6 horas de análises. Todavia, não houve, em nenhum momento de análise, a formação de creme nos demais tratamentos contendo os herbicidas amicarbazone e indaziflam, exceção apenas deste último herbicida que obteve formação de creme apenas na sua forma isolada, após as 6 horas de análise (Figura 22-C).

Por fim, todos os tratamentos sofreram formações de espumas em pelo menos um momento de análise (Figura 22-D), com exceção dos herbicidas sulfentrazone em mistura com o espalhante adesivo e do herbicida indaziflam de forma isolada, que não tiveram formações de espumas em nenhum momento. É importante enfatizar a formação de espumas nas caldas fitossanitárias dos herbicidas amicarbazone em misturas com o óleo mineral e surfactante, além de formação total de espuma na calda contendo o herbicida indaziflam também em mistura com o óleo mineral, esses tratamentos procederam formações de espumas em todos os momentos de análises, desde o momento de agitação das caldas (0 horas).

Figura 22 – Efeito das interações das caldas fitossanitárias. A - sedimentação, B - formação de cristais, C - creme, D - espuma

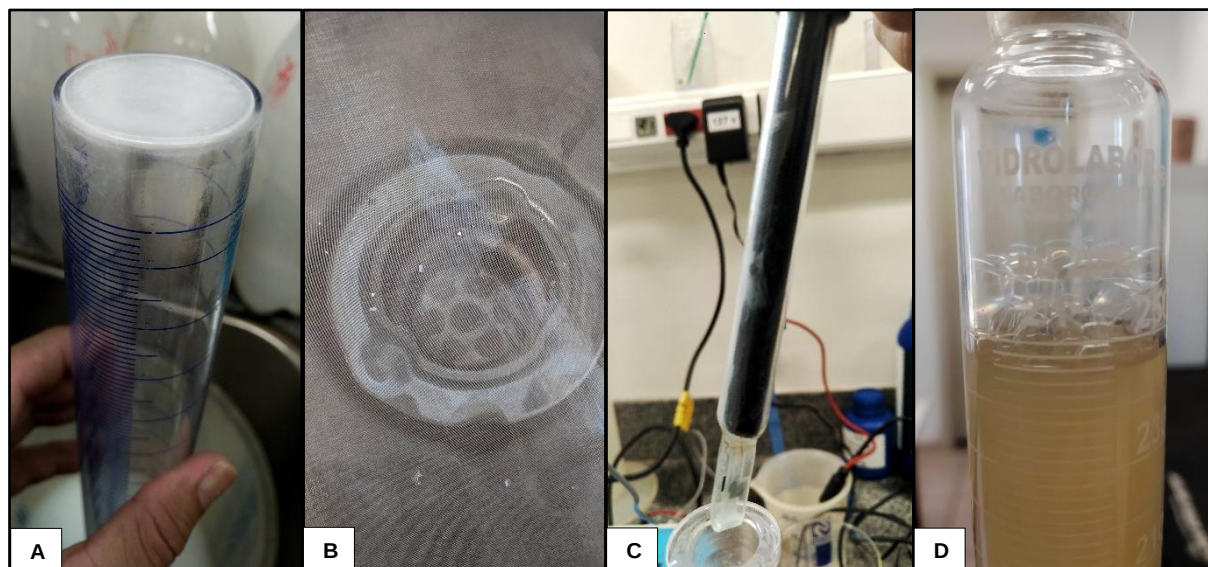


Tabela 6 – Características físico-química de caldas do herbicida sulfentrazone

Produtos	Tempo de avaliação	Floculação	Sedimentação	Separação de fases	Suspensão de óleo	Formação de grumos	Formação de cristais	Creme	Espuma
SUL	0 h	-	-	-	-	-	-	-	-
	2 h	-	X	-	-	-	-	-	-
	6 h	-	-	-	-	-	-	-	X
	24h	-	X	-	-	-	X	-	-
SUL + ASS	0 h	-	-	-	-	-	-	-	-
	2 h	-	X	-	-	-	-	X	-
	6 h	-	X	-	-	-	-	X	X
	24h	-	X	X	-	-	X	-	X
SUL + AGR	0 h	-	-	-	-	-	-	-	-
	2 h	-	X	-	-	-	-	X	-
	6 h	-	X	-	-	-	-	X	-
	24h	-	X	-	-	-	X	-	-
SUL + SIL	0 h	-	-	-	-	-	-	-	X
	2 h	-	X	-	-	-	-	-	X
	6 h	-	-	-	-	-	-	-	X
	24h	-	X	-	-	-	X	-	-

(x) Presença da característica analisada

(-) Ausência da característica analisada

Tabela 7 – Características físico-química de caldas do herbicida amicarbazone

Produtos	Tempo de avaliação	Floculação	Sedimentação	Separação de fases	Suspensão de óleo	Formação de grumos	Formação de cristais	Creme	Espuma
AMI	0 h	-	-	-	-	-	-	-	X
	2 h	-	-	-	-	-	-	-	-
	6 h	-	-	-	-	-	-	-	-
	24h	-	X	X	-	-	X	-	-
AMI + ASS	0 h	-	-	-	-	-	-	-	X
	2 h	-	X	-	-	-	-	-	X
	6 h	-	-	-	-	-	-	-	X
	24h	-	X	X	-	-	-	-	X
AMI + AGR	0 h	-	-	-	-	-	-	-	X
	2 h	-	X	-	-	-	-	-	X
	6 h	-	-	-	-	-	-	-	-
	24h	-	X	X	-	-	-	-	-
AMI + SIL	0 h	-	-	-	-	-	-	-	X
	2 h	-	X	-	-	-	-	-	X
	6 h	-	X	-	-	-	-	-	X
	24h	-	X	X	-	-	-	-	X

(x) Presença da característica analisada

(-) Ausência da característica analisada

Tabela 8 – Características físico-química de caldas do herbicida indaziflam

Produtos	Tempo de avaliação	Floculação	Sedimentação	Separação de fases	Suspensão de óleo	Formação de grumos	Formação de cristais	Creme	Espuma
IND	0 h	-	-	-	-	-	-	-	-
	2 h	-	X	-	-	-	X	-	-
	6 h	-	X	-	-	-	X	X	-
	24h	-	X	-	-	-	X	-	-
IND + ASS	0 h	-	-	-	-	-	-	-	X
	2 h	-	-	-	-	-	-	-	X
	6 h	-	-	-	-	-	-	-	X
	24h	-	X	-	-	X	X	-	X
IND + AGR	0 h	-	-	-	-	-	-	-	X
	2 h	-	-	-	-	-	-	-	X
	6 h	-	-	-	-	-	-	-	-
	24h	-	X	-	-	X	X	-	-
IND + SIL	0 h	-	-	-	-	-	-	-	-
	2 h	-	X	-	-	-	-	-	X
	6 h	-	-	-	-	-	-	-	X
	24h	-	X	-	-	X	X	-	-

(x) Presença da característica analisada

(-) Ausência da característica analisada

4.2 Tensão superficial e ângulo de contato

A associação de adjuvantes nas caldas de herbicidas, modificaram o comportamento desses produtos na formação (tensão superficial) e espalhamento (ângulo de contato) de gota. Deste modo, houve diferença nas comparações das médias com a utilização do mesmo herbicida de forma isolada e em associação com adjuvantes (Tabela 8).

Tabela 9 – Tensão superficial (mN m^{-1}) e ângulo de contato em função dos tratamentos, aos cinco segundos de espalhamento e formação de gota

Herbicidas*	Tensão Superficial	Ângulo de Contato
Sulfentrazone	52,64 ^D	75,75 ^B
Sulfentrazone + Assist	45,92 ^C	85,01 ^C
Sulfentrazone + Agral	34,74 ^B	49,06 ^A
Sulfentrazone + Silwet	21,91 ^A	-
DMS (5%)	1,98	8,93
Amicarbazone	51,07 ^D	93,58 ^C
Amicarbazone + Assist	37,88 ^C	61,33 ^B
Amicarbazone + Agral	34,46 ^B	43,91 ^A
Amicarbazone + Silwet	21,87 ^A	-
DMS (5%)	0,93	12,20
Indaziflam	74,59 ^D	86,61 ^C
Indaziflam + Assist	59,73 ^C	64,50 ^B
Indaziflam + Agral	35,25 ^B	44,23 ^A
Indaziflam + Silwet	21,37 ^A	-
DMS (5%)	0,84	5,32
Água	74,89	91,56

* As letras nas colunas isoladas são comparações entre os tratamentos do mesmo herbicida. As médias seguidas por letras iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

A adição de adjuvantes modificou a tensão superficial e o ângulo de contato dos herbicidas, com exceção do óleo mineral, esse adjuvante obteve comportamento desigual, nas misturas de caldas.

Além de ser muito eficiente na redução da tensão superficial, o adjuvante surfactante Silwet é um molhante com altíssima capacidade e velocidade de espalhamento nas superfícies. Dessa forma, não foi possível realizar a leitura do ângulo de contato das gotas associadas a este produto na superfície de palha de cana-de-açúcar, através do equipamento tensiômetro (Contact Angle System OCA 15-Plus (Dataphysics®), também não foi possível adquirir imagens com o software SCA20®, por meio da assimetria dos eixos, pois o espalhamento dos herbicidas em mistura com esse produto antecede o primeiro segundo de leitura do equipamento, sendo inviável a obtenção de dados.

Vídeos ilustrativos, durante as análises de espalhamento da gota, dos herbicidas em misturas com o adjuvante surfactante Silwet, podem ser visualizados com a utilização dos códigos de respostas rápida (QR Code) na Figura 26, em conformidade com as ilustrações fotográficas da Figura 27.

Figura 26 – QR Code, para transmissão visual, do espalhamento de gota de uma solução contendo o adjuvante surfactante Silwet na palha

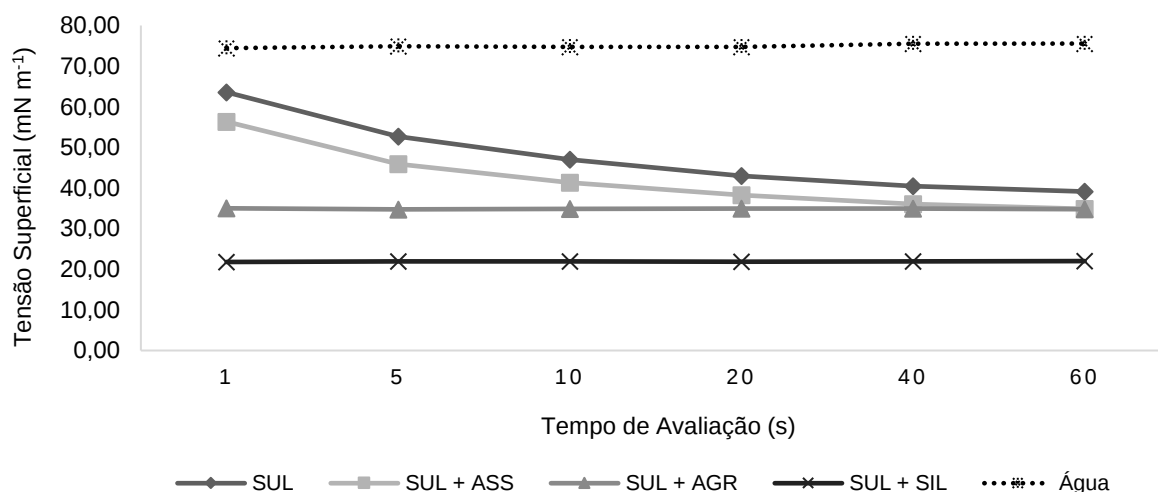


Figura 27 – Tensão superficial da calda fitossanitária contendo o adjuvante surfactante Silwet® L-77, na palha da cana-de-açúcar



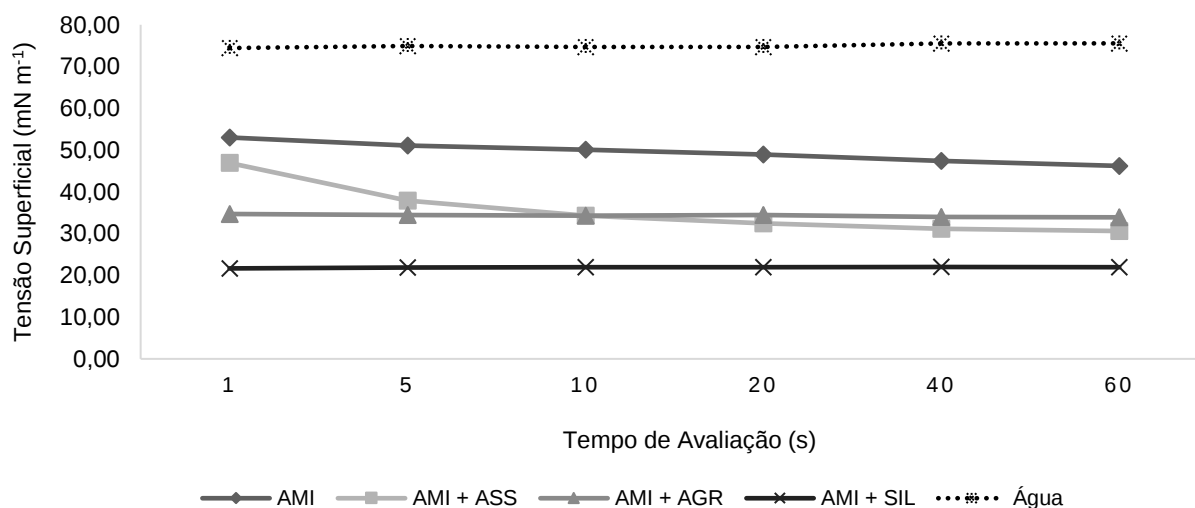
A junção do surfactante, nas caldas fitossanitárias contendo o herbicida sulfentrazone, reduziu, aproximadamente, 59 % a tensão superficial da calda, em comparação a sua forma isolada ($52,64 \text{ mN m}^{-1}$ para $21,91 \text{ mN m}^{-1}$). Em seguida, o espalhante adesivo ($37,74 \text{ mN m}^{-1}$) com 34 % de redução e por fim, o óleo mineral ($45,92 \text{ mN m}^{-1}$) com redução de aproximadamente 13 % (Figura 28).

Figura 28 – Tensão superficial do herbicida sulfentrazone e percentual de formação de gota com relação ao herbicida de forma isolada ao longo de 1, 5, 10, 20, 40 e 60 segundos de análises



O mesmo aconteceu com o herbicida amicarbazone, a associação com o surfactante organosilicone reduziu de forma significativa a tensão superficial da calda na presença deste herbicida, redução de 57 %, em comparação a sua forma isolada ($51,07 \text{ mN m}^{-1}$ para $21,97 \text{ mN m}^{-1}$). Logo após, o espalhante adesivo ($34,46 \text{ mN m}^{-1}$) com redução aproximada de 33 %, e por último a utilização do adjuvante óleo mineral ($37,88 \text{ mN m}^{-1}$), este obteve redução próxima de 26 % (Figura 29).

Figura 29 – Tensão superficial do herbicida amicarbazone e percentual de formação de gota com relação ao herbicida de forma isolada ao longo de 1, 5, 10, 20, 40 e 60 segundos de análises

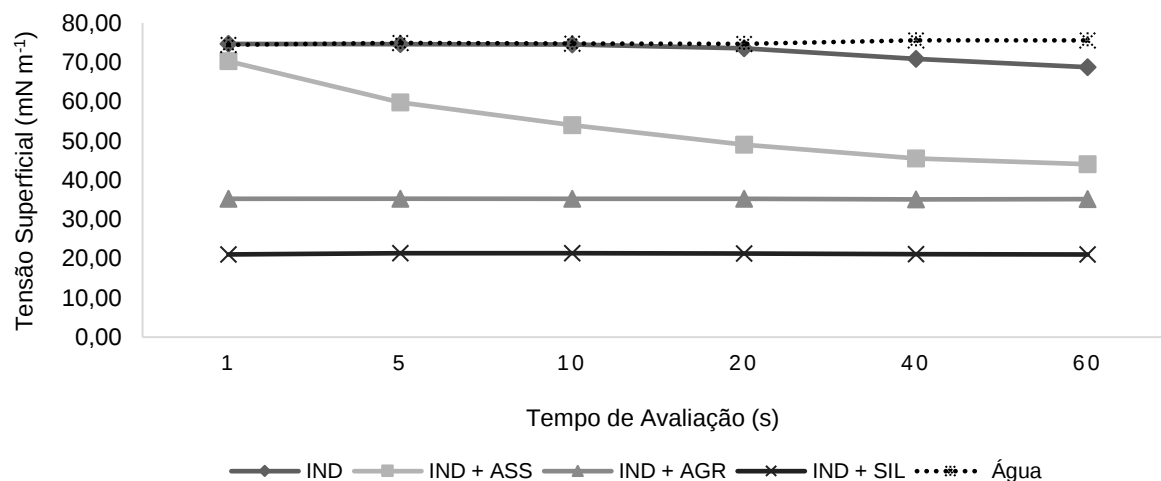


Assim como os herbicidas citados acima, o herbicida indaziflam na presença de adjuvantes obteve alterações nos valores de tensão superficial. O melhor resultado foi atribuído a esse herbicida em associação com o surfactante ($74,59 \text{ mN m}^{-1}$ para $21,37 \text{ mN m}^{-1}$), este alcançou mais de 71 % de redução da tensão superficial da calda fitossanitária, em comparação a sua forma isolada (Figura 30).

Nessa sequência, o herbicida indaziflam em mistura com o espalhante adesivo ($35,25 \text{ mN m}^{-1}$), reduziu aproximadamente 57 %, e por fim, o adicionamento ao óleo mineral ($59,73 \text{ mN m}^{-1}$) com redução próxima de 20 %, em comparação a sua forma isolada.

O herbicida indaziflam ($74,59 \text{ mN m}^{-1}$), em paralelo aos demais herbicidas é o produto que possui maior proximidade de valor de tensão superficial com a água ($74,89 \text{ mN m}^{-1}$). Em vista disto, necessita de uma maior redução da tensão superficial com a utilização de adjuvantes.

Figura 30 – Tensão superficial do herbicida indaziflam e percentual de formação de gota com relação ao herbicida de forma isolada ao longo de 1, 5, 10, 20, 40 e 60 segundos de análises



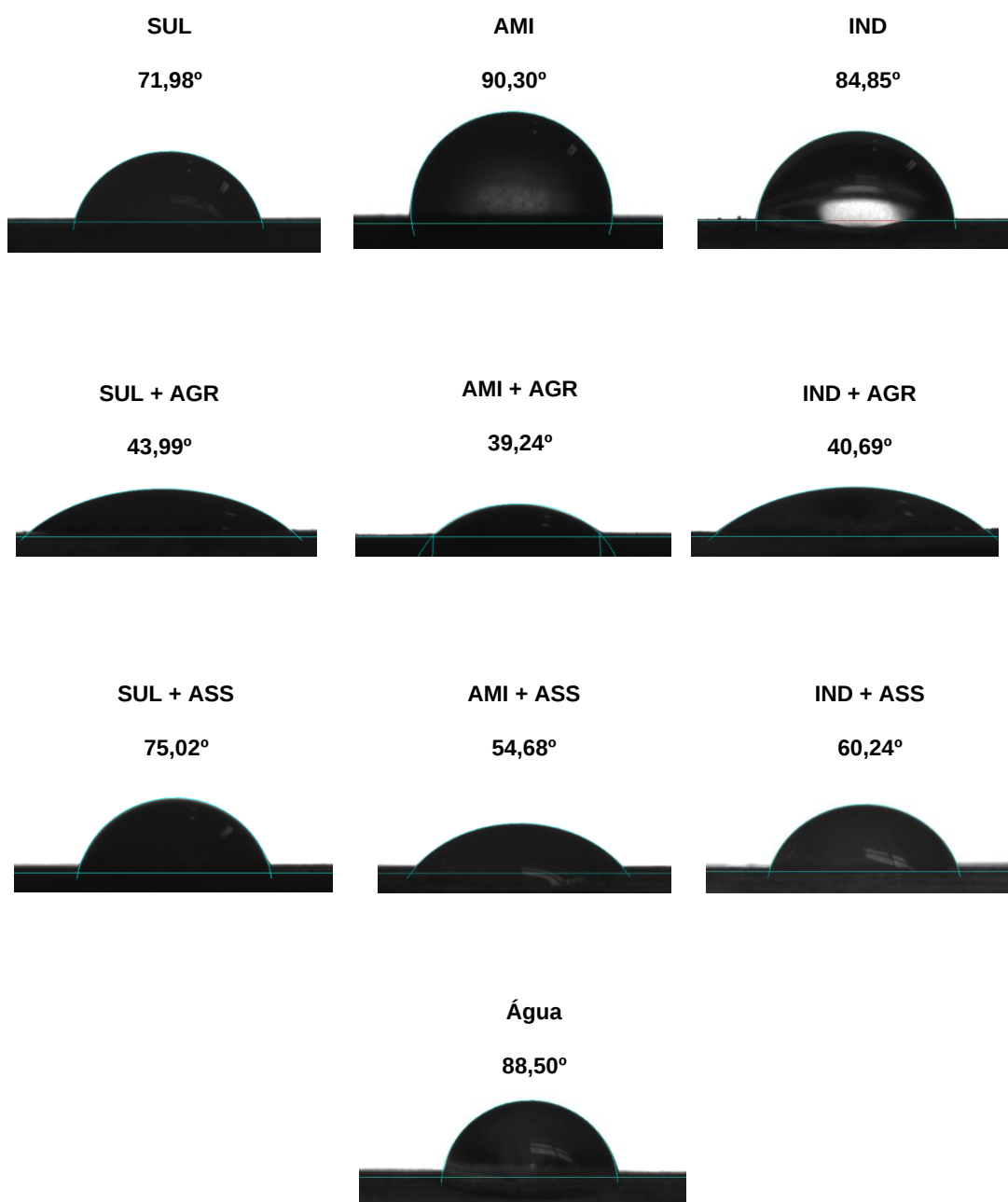
De modo geral, o óleo mineral foi o adjuvante de maior influência para a redução da tensão superficial das misturas fitossanitárias. É possível visualizar, na Figura 31, as distribuições das imagens reais, capturadas pelo equipamento tensiômetro (Contact Angle System OCA 15-Plus (Dataphysics®), durante a formação da formação de gota de cada tratamento, aos 10 segundos de leitura.

Figura 31 – Imagens capturadas pelo método de gota pendente da tensão superficial, analisadas pelo equipamento tensiômetro (Contact Angle System OCA 15-Plus (Dataphysics®), aos 10 segundos de leitura de formação da gota



Além disso, os adjuvantes modificaram as caldas fitossanitárias no processo de depósito de gotas na superfície de cobertura de palha, esse processo pode ser identificado através do ângulo de contato ou capacidade de molhamento (Figura 32).

Figura 32 – Imagens do ângulo de contato, analisadas pelo equipamento tensiômetro (Contact Angle System OCA 15-Plus (Dataphysics®), aos 10 segundos de leitura do espalhamento de gota na superfície de palha da cana-de-açúcar

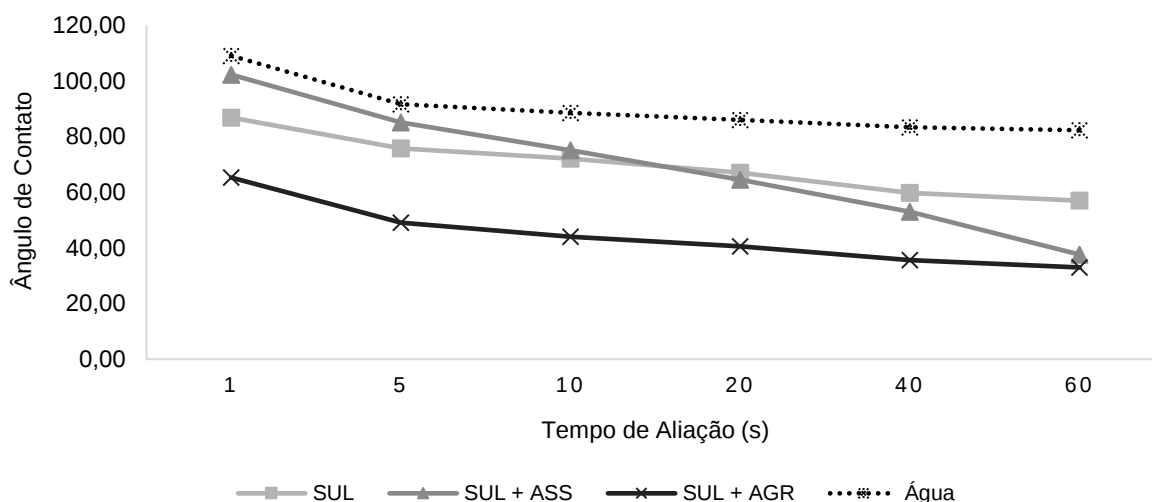


A capacidade de espalhamento é adquirida através da forma que a gota se comporta na superfície, ao formar um ângulo menor que 90° é caracterizado com hidrofílica, ou seja, uma melhor interação do líquido com a superfície ou hidrofóbicas, quando os ângulos forem maiores que 90° . Além disso, pode ser caracterizada como extrema afinidade de espalhamento, quando este ângulo for igual a 0° , ou quando é igual ou muito próximo a 180° , onde o líquido não apresenta qualquer interação com a superfície.

O herbicida sulfentrazone, de forma isolada, possui um diferencial de espalhamento de 17 % melhor que a água ($75,75^\circ$ - sulfentrazone; $91,56^\circ$ - água). Tratando-se de misturas com adjuvantes, a associação deste produto com o espalhante adesivo, reduziu 35 % o ângulo de contato ($49,06^\circ$) da gota produzida com a superfície da palha da cana-de-açúcar, em comparação a sua forma isolada, além de reduzir um total de 46 % o ângulo de contato em comparação com a água, concluindo que o adjuvante agral melhorou de forma significativa o espalhamento da calda fitossanitária na superfície de palha (Figura 33).

Todavia, a adição do óleo mineral nas caldas contendo o herbicida sulfentrazone influenciou de forma negativa o espalhamento dos produtos em comparação a forma isolada do herbicida, o ângulo de contato obteve um aumento de 12 % no ângulo de contato ($85,01^\circ$), reduzindo o seu espalhamento. Mesmo assim, esse percentual de espalhamento é maior que a forma isolada do herbicida, se encontra superior à água. Tornando a calda fitossanitária com o óleo mineral ainda mais espalhante que a água.

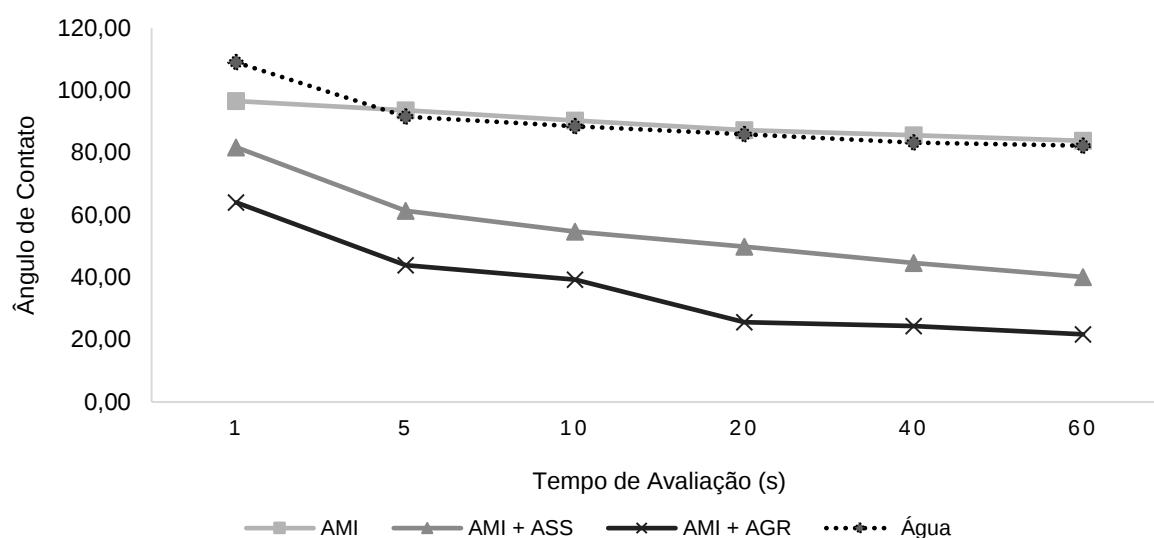
Figura 33 – Ângulo de contato das caldas fitossanitárias do herbicida sulfentrazone e percentual de espalhamento de gota na superfície da palha da cana-de-açúcar, com relação ao herbicida de forma isolada e a testemunha ao longo de 1, 5, 10, 20, 40 e 60 segundos de análises



O herbicida amicarbazone, em sua forma isolada, possui um diferencial de espalhamento menor que a água ($93,58^\circ$ - amicarbazone; $91,56^\circ$ - água). Isso requer buscas de estratégias que melhorem a capacidade de espalhamento deste herbicida, e, conseqüentemente, melhorem a sua deposição na superfície de palha (Figura 34).

Nessa perspectiva, a adição do espalhante adesivo agram (43,91°), melhorou de forma significativa o espalhamento do produto, reduziu em até 53 % o ângulo de contato da gota com a superfície de palha. Nessa sequência, a utilização do óleo mineral (64,50°) também foi favorável na melhoria do espalhamento com este herbicida, reduziu aproximadamente 35 % o ângulo de contato da gota com a palha, aprimorando o seu espalhamento.

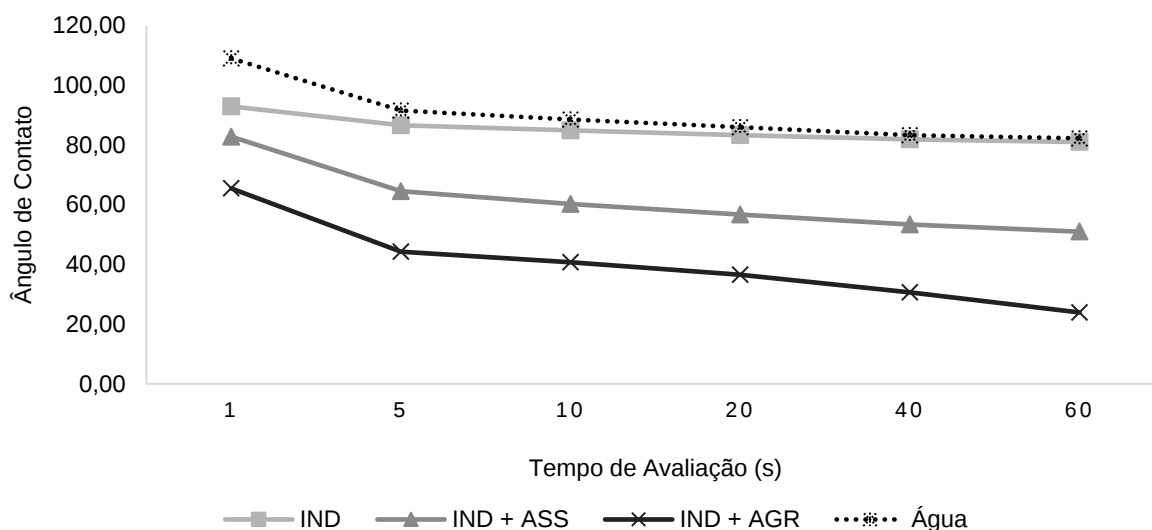
Figura 34 – Ângulo de contato das caldas fitossanitárias do herbicida amicarbazone e percentual de espalhamento de gota na superfície da palha da cana-de-açúcar, com relação ao herbicida de forma isolada e a testemunha ao longo de 1, 5, 10, 20, 40 e 60 segundos de análises



O herbicida indaziflam, em sua forma isolada, requer um diferencial de apenas 5 % de capacidade de espalhamento melhor que a água (86,61° - indaziflam; 91,56° - água). Assim como o herbicida amicarbazone, demanda buscas de estratégias que melhorem a capacidade de molhamento deste herbicida nas superfícies de palha de cana-de-açúcar (Figura 35).

A junção do herbicida indaziflam com o espalhante adesivo melhorou a sua capacidade de espalhamento na superfície de palha (44,23°), pois a nota atribuída ao ângulo de contato ficou em torno de 49 % menor que a forma isolada do herbicida, melhorando o seu desempenho de espalhamento. Nessa ordem, ao utilizar o óleo mineral (64,50°), a redução do ângulo de contato ficou em média 26 % menor que a sua forma isolada, concordando com a mistura do herbicida amicarbazone em associação com o óleo mineral.

Figura 35 – Ângulo de contato das caldas fitossanitárias do herbicida indaziflam e percentual de espalhamento de gota na superfície da palha da cana-de-açúcar, com relação ao herbicida de forma isolada e a testemunha ao longo de 1, 5, 10, 20, 40 e 60 segundos de análises



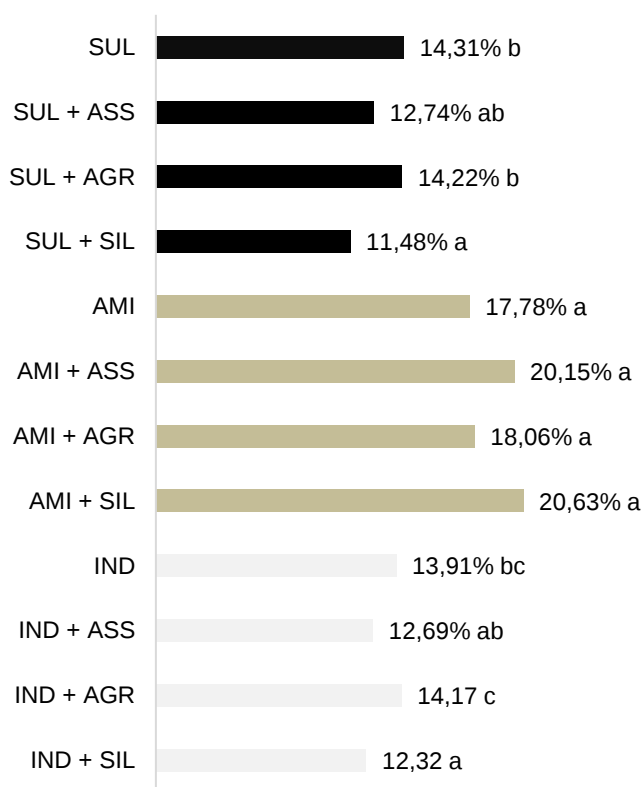
4.3 Caracterização do tamanho de gotas

Os adjuvantes modificaram os tamanhos das gotas. Desse modo, o adjuvante surfactante proporcionou redução no volume de gotas menores que 100 micrômetros nas caldas fitossanitárias contendo os herbicidas sulfentrazone e indaziflam. No entanto, o espalhante adesivo obteve comportamento semelhante para esses herbicidas, elevando o aumento no volume das gotas.

Foi verificado nas avaliações das médias percentuais de gotas menores que 100 μm , que os tratamentos associados as misturas do herbicida sulfentrazone diferiram entre si, com exceção da forma isolada do herbicida sulfentrazone (14,31 %) e deste herbicida com o espalhante adesivo (14,22 %), esses tratamentos alcançaram as maiores médias e não diferiram pelo teste de média, seguido pelo tratamento

contendo o herbicida sulfentrazone em mistura com óleo mineral (12,74 %). As menores médias foram obtidas pela mistura do herbicida sulfentrazone com o surfactante (12,74 %). Pode-se deduzir que o surfactante reduziu o percentual do tamanho de gotas para as caldas fitossanitárias do herbicida sulfentrazone (Figura 36).

Figura 36 – Comparação das médias de porcentagem do volume de gotas com tamanho inferior a 100 µm



* As médias seguidas por letras iguais, com o mesmo herbicida, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. Sulfentrazone – DMS (5%) = 1,90; CV (%) = 6,52; Amicarbazone – DMS (5%) = 2,93; CV (%) = 6,92; Indaziflam – DMS (5%) = 1,30; CV (%) = 4,45.

A avaliação das médias percentuais de gotas menores que 100 µm, para as caldas fitossanitárias comportando o herbicida indaziflam também diferiram entre si. As médias percentuais dos tamanhos de gotas mais próximas foram resultantes da mistura do herbicida indaziflam com a adição do adjuvante Assist (12,69 %) e da calda fitossanitária contendo apenas o herbicida indaziflam de forma isolada (13,91 %).

Além disso, a menor média foi atribuída ao herbicida indaziflam associado ao adjuvante óleo mineral (12,32 %), em compensação, a maior média foi resultante ao herbicida indaziflam associado ao espalhante adesivo (14,17 %).

Em contrapartida, as médias percentuais de gotas com diâmetro menor que 100 μm calculadas para as caldas fitossanitárias contendo o herbicida amicarbazone, não diferiram. Portanto, os adjuvantes não influenciaram este índice, em comparação aos tratamentos fitossanitários contendo os herbicidas sulfentrazone e indaziflam. Verificou-se a manutenção dos tamanhos de gotas na seguinte ordem: maior média para o herbicida amicarbazone em associação com o adjuvante surfactante (20,63 %), seguido das misturas deste herbicida com o óleo mineral (20,15 %), posteriormente o mesmo herbicida com espalhante adesivo (18,06 %) e com a menor média, o herbicida amicarbazone em sua forma isolada (17,78 %).

Os valores obtidos para o diâmetro mediano volumétrico (DMV) foi determinado pelo tamanho das partículas pulverizadas nos ensaios de aplicação através da difração de raios laser, esses resultados foram divididos pelo espectro de gotas em dois volumes iguais: de um lado somente com gotas maiores ao DMV e do outro lado, gotas menores na mesma proporção, a soma dos dois lados correspondem ao DMV.

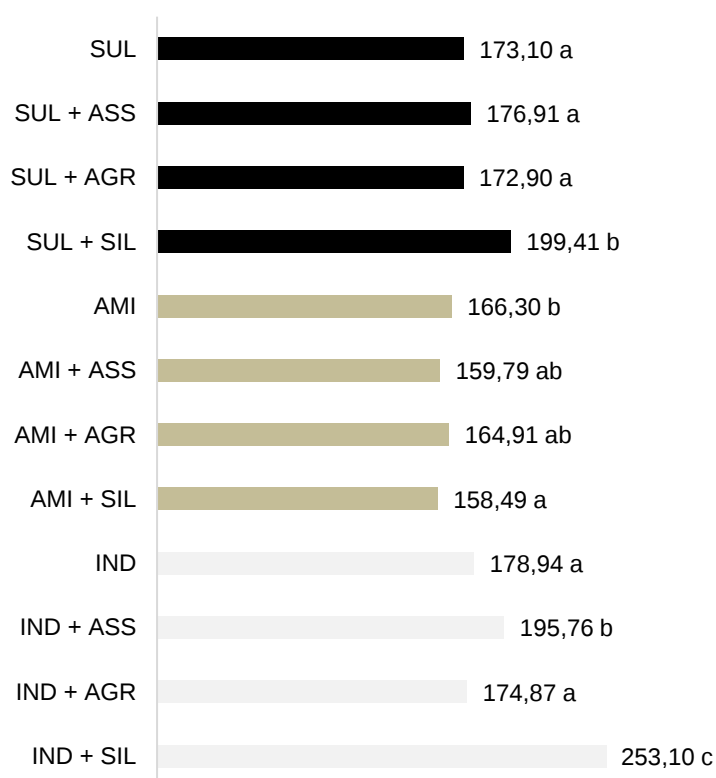
Os valores médios de DMV para os tratamentos aplicados com o herbicida sulfentrazone variaram entre 173 e 199 μm . Em vista disso, não houve diferença significativa nos valores de DMV das gotas atribuídas ao herbicida sulfentrazone, com exceção da mistura deste herbicida com o adjuvante surfatante, pois essa solução adquiriu a maior média do diâmetro mediano volumétrico de gotas. A menor média foi obtida pelo herbicida sulfentrazone em associação com o espalhante adesivo, seguido pelo herbicida sulfentrazone de forma isolada e, por fim, com a menor média atribuída, o mesmo herbicida em mistura com o óleo mineral (Figura 37).

No entanto, com a utilização do herbicida amicarbazone, os tratamentos diferiam de forma parcial. Os valores médios de DMV para os tratamentos aplicados com o herbicida amicarbazone variaram entre 158 e 166 μm . O DMV das gotas atribuídas ao herbicida amicarbazone de forma isolada foi resultante da maior média do diâmetro mediano volumétrico de gotas. A menor média foi a associação deste herbicida com o adjuvante surfatante. Todavia, a associação do herbicida

amicarbazone com o óleo mineral e deste herbicida com o espalhante adesivo não diferiram os seus valores através do teste de média.

O herbicida indaziflam alcançou a maior média do diâmetro mediano volumétrico de gotas. Os valores médios variaram entre 175 e 253 μm . As misturas com o adjuvante surfactante obteve a maior média. Na sequência, o mesmo herbicida em associação com o óleo mineral e, por fim, o herbicida indaziflam de forma isolada e em associação com o espalhante adesivo, esses produtos não diferiram os seus valores através do teste de média resultando nas menores médias.

Figura 37 – Comparação dos valores médios de DMV, através do método de difração de raios laser

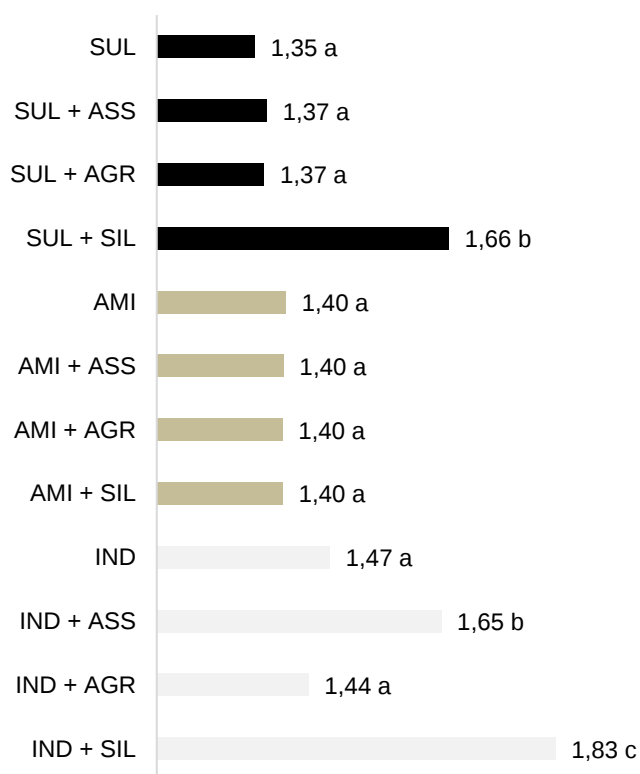


* As médias seguidas por letras iguais, com o mesmo herbicida, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. Sulfentrazone – DMS (5%) = 5,86; CV (%) = 1,47; Amicarbazone – DMS (5%) = 7,17; CV (%) = 2,00; Indaziflam – DMS (5%) = 5,28; CV (%) = 1,19.

A amplitude de dispersão (Span) é responsável pela uniformidade no diâmetro de gotas, desse modo, quanto mais próximo de zero, menor será a variação de diâmetro mediano volumétrico de gota. Quando os valores desse fator se aproximam de zero, é caracterizado como uniformidade absoluta.

No caso deste trabalho, não houve redução significativa do Span nos tratamentos utilizados pelo herbicida amicarbazone. Os valores permaneceram constantes com média de 1,40. Dessa forma, os adjuvantes não influenciaram o comportamento deste herbicida (Figura 39).

Figura 39 – Comparação dos valores médios do coeficiente de uniformidade (Span)



* As médias seguidas por letras iguais, com o mesmo herbicida, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. Sulfentrazone – DMS (5%) = 0,08; CV (%) = 2,43; Amicarbazone – DMS (5%) = 0,10; CV (%) = 3,23; Indaziflam – DMS (5%) = 0,15; CV (%) = 4,30.

Nesse sentido, a utilização do surfactante organosilicone na associação com o herbicida sulfentrazone aumentou a média de valores do span, influenciando de forma negativa a sua uniformidade. A adição do óleo mineral e do espalhante adesivo não influenciaram a uniformidade de gotas do herbicida sulfentrazone.

Os valores médios de amplitude de dispersão para os tratamentos aplicados com o herbicida sulfentrazone variaram entre 1,35 a 1,66.

Em concordância com essas informações, a utilização do surfactante em mistura com o herbicida indaziflam, aumentou a média de valores do span, os valores médios de amplitude de dispersão para os tratamentos aplicados com este herbicida variaram entre 1,44 a 1,83.

Assim como a mistura do adjuvante surfactante com o herbicida sulfentrazone, o herbicida indaziflam modificou o seu comportamento, reduzindo a sua uniformidade no diâmetro de gotas.

Quando há um aumento no diâmetro mediano volumétrico, consequentemente, o parâmetro amplitude de dispersão contrariamente diminui. Dados puderam ser observados com exceção das caldas fitossanitárias contendo o herbicida amicarbazone, este produto manteve a amplitude constante para utilização da sua forma isolada e através das misturas com os adjuvantes. Em vista disso, não foi observada relação de proporcionalidade entre o DMV e o herbicida, ou seja, não houve correlação aparente.

4.4 Dinâmica de herbicidas na palha da cana-de-açúcar

A palha da cana-de-açúcar associada a chuva influenciou o comportamento dos herbicidas, deste estudo. Em vista disso, embora os herbicidas apresentarem diferentes características físico-químicas, foi verificada boa dinâmica e liberação da palha após a aplicação da lâmina de chuva de 20 mm.

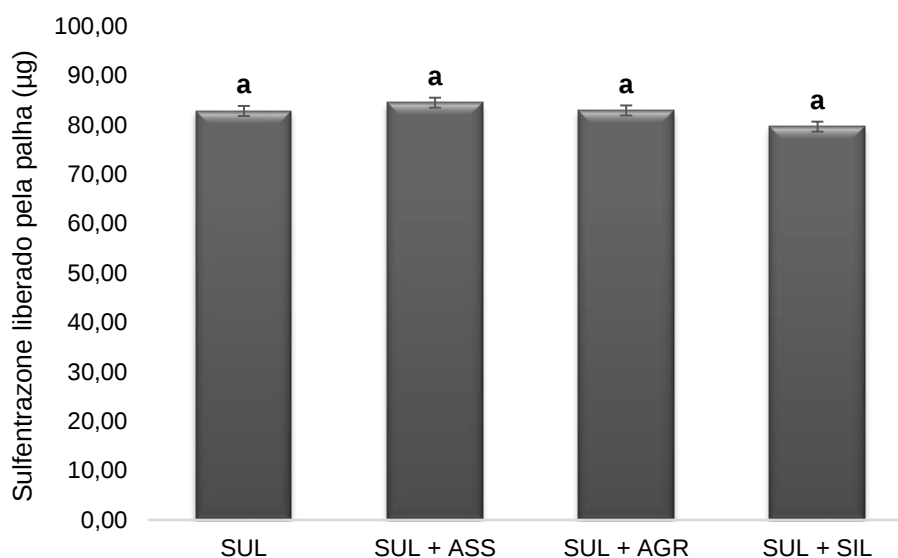
Tratando-se das caldas fitossanitárias contendo o herbicida sulfentrazone (Boral® 500 SC), de forma isolada e em associação com adjuvantes, não foram

identificadas diferenças nas médias das concentrações do herbicida que passou pela camada de palha (Figura 41).

As aplicações do herbicida na quantidade de palhada da cana-de-açúcar (10 t ha⁻¹) somadas com a aplicação da lâmina de chuva de (20 mm, 1 DAA), possibilitou na liberação do herbicida da palha para camadas mais profundas.

Apesar de que não tenham sido identificadas diferenças, é importante destacar que a calda fitossanitária contendo o herbicida sulfentrazone em associação com o adjuvante surfactante (Silwet®) obteve menor valor adquirido de produto resultante ultrapassando a camada de palha, em comparação as demais misturas. Conclui-se a importância de o adjuvante alcançar elevada capacidade de redução da tensão superficial das soluções e, conseqüentemente, alcançar maior absorção pela camada vegetal, rematando a importância de uma maior retenção na camada de palha e influência de menores riscos de lavagem das soluções na presença de chuvas.

Figura 41 – Quantidade da solução do herbicida sulfentrazone que passou pela palha / cápsula (µg)



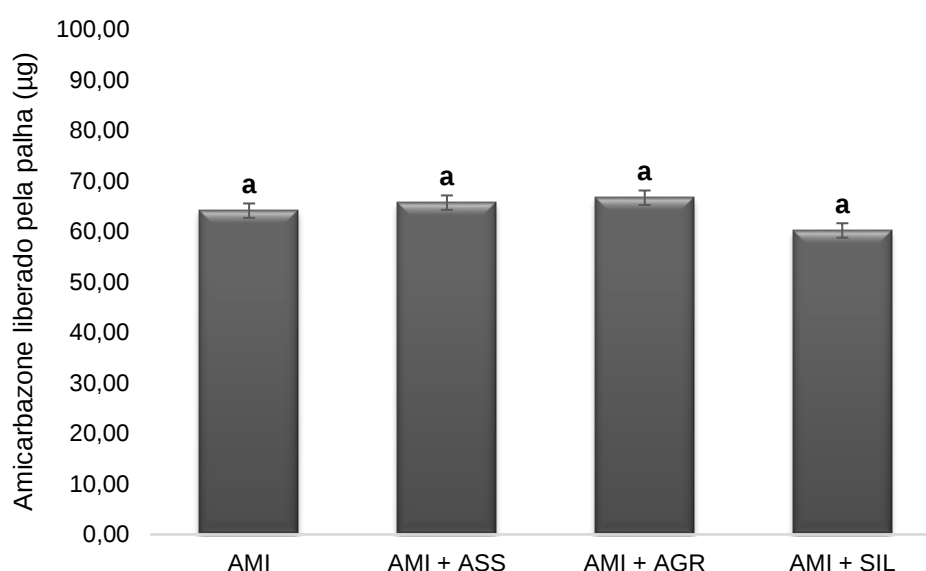
O herbicida sulfentrazone é um produto considerado muito móvel. Dessa forma, consegue atingir, com maior facilidade, barreiras superficiais e camadas mais profundas na presença de chuvas.

O mesmo comportamento pode ser observado com a utilização do herbicida amicarbazone (Dinamic®), nas caldas fitossanitárias. A lâmina de chuva de 20 mm foi suficiente para facilitar a mobilidade e ativação do herbicida amicarbazone pela palhada da cana-de-açúcar (10 t ha^{-1}) (Figura 42).

É importante salientar que a aplicação do herbicida amicarbazone na palhada da cana-de-açúcar tende afetar a lixiação e/ou promover a retenção desse herbicida, quando a existência ou não de chuvas, pois ele possui grande resistência à seca e um longo período residual, visto que após uma precipitação ele é novamente ativado e tende a atravessar períodos mais longos de extremo déficit hídrico.

A utilização do surfactante na calda fitossanitária do herbicida amicarbazone influenciou em uma maior retenção desse herbicida na palhada, em comparação as demais soluções, em concordância com as características desse produto em promover uma maior redução da tensão superficial dos produtos, além de promover uma maior absorção pela camada vegetal.

Figura 42 – Quantidade da solução do herbicida amicarbazone que passou pela palha / cápsula (μg)

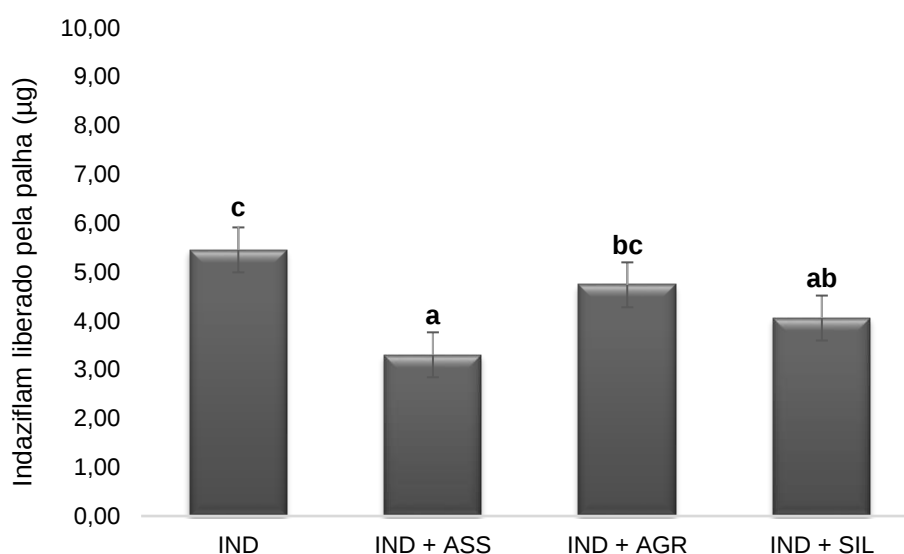


Foram observadas diferenças nas médias das concentrações de indaziflam (Figura 43) que passou pela camada de palha da cana-de-açúcar (10 t ha⁻¹) somadas com a aplicação da lâmina de chuva de (20 mm, 1 DAA).

A menor concentração foi alcançada na associação do herbicida com o óleo mineral (Assist®), seguidamente na mistura com adjuvante surfactante (Silwet®), posteriormente na combinação com o espalhante adesivo (AGRAL®) e por último, com a maior concentração e diferindo dos demais soluções, a calda fitossanitária contando apenas o herbicida indaziflam de forma isolada.

O herbicida indaziflam isolado apresentou nível inferior de saída da palha, esse comportamento pode estar relacionado com a quantidade de palha (10 t ha⁻¹) e/ou pela lâmina de chuva de 20 mm, visto que, esse herbicida possui baixa solubilidade em água e sofre rápida fotodegradação em meio aquoso, além de dissipa-se no ambiente principalmente através da degradação biótica.

Figura 43 – Quantidade da solução do herbicida indaziflam que passou pela palha / cápsula (µg)



4.5 Controle de plantas daninhas

A utilização de palha da cana-de-açúcar modificou o comportamento dos das caldas fitossanitárias e, conseqüentemente, alterou o grau de redução das plantas daninhas no presente estudo.

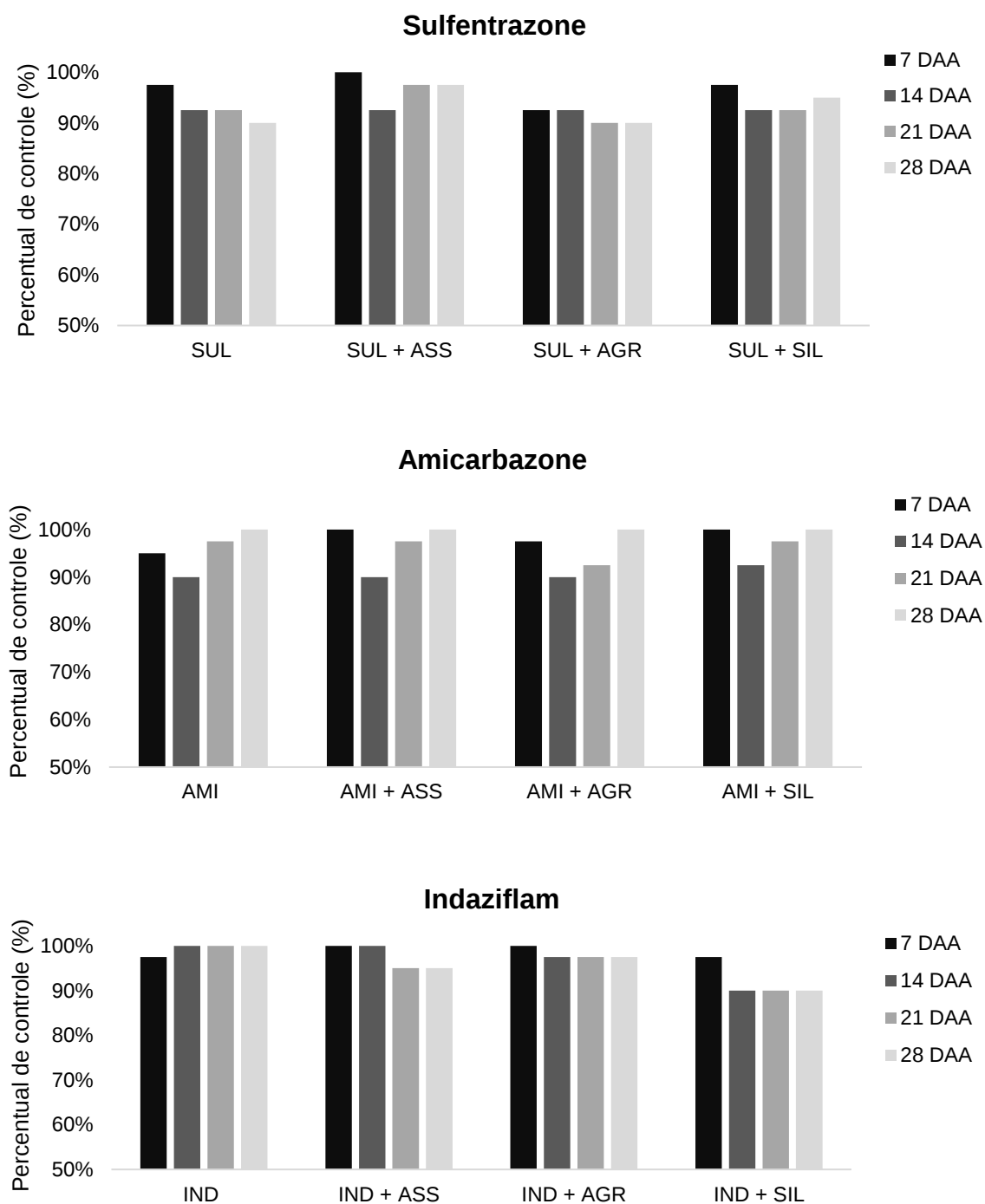
4.5.1 Análise de controle

Aos sete dias após a aplicação (DAA) do herbicida sulfentrazone sobre a palha da cana-de-açúcar, foi possível visualizar o controle excelente das plantas daninhas de *Brachiaria decumbens*, somado com a lâmina de chuva de 20 mm, 24 horas após as aplicações dos produtos. O mesmo comportamento foi atribuído nas aplicações deste herbicida em associação com óleo mineral, do herbicida com o espalhante adesivo e do herbicida com o surfactante organosilicone (Figura 44).

No decorrer das análises, foi possível verificar mudanças no comportamento destes produtos. Aos 28 DAA, último dia de análise, verificou-se alterações de controle das plantas daninhas. As aplicações realizadas com o herbicida sulfentrazone e em mistura como o espalhante adesivo e mistura do herbicida com o adjuvante surfactante, mantiveram controle excelente de *B. decumbens*. Em contrapartida, A associação deste herbicida com o óleo mineral obteve redução no grau de controle para muito bom.

As caldas fitossanitárias contendo o herbicida amicarbazone resultaram controle total de *B. decumbens*, alcançando grau de excelência nas aplicações sobre a palha da cana-de-açúcar. O mesmo aconteceu com a calda fitossanitária contendo o herbicida indaziflam de forma isolada. Esse produto obteve controle total do capim braquiária aos 28 DAA.

Figura 44 – Percentual do controle de *Brachiaria decumbens* aos 7, 14, 21 e 28 dias após aplicação (DAA) de herbicidas, aplicados sobre a palha da cana-de-açúcar (10 t ha⁻¹) e lâmina de chuva (20 mm, 1 DAA)



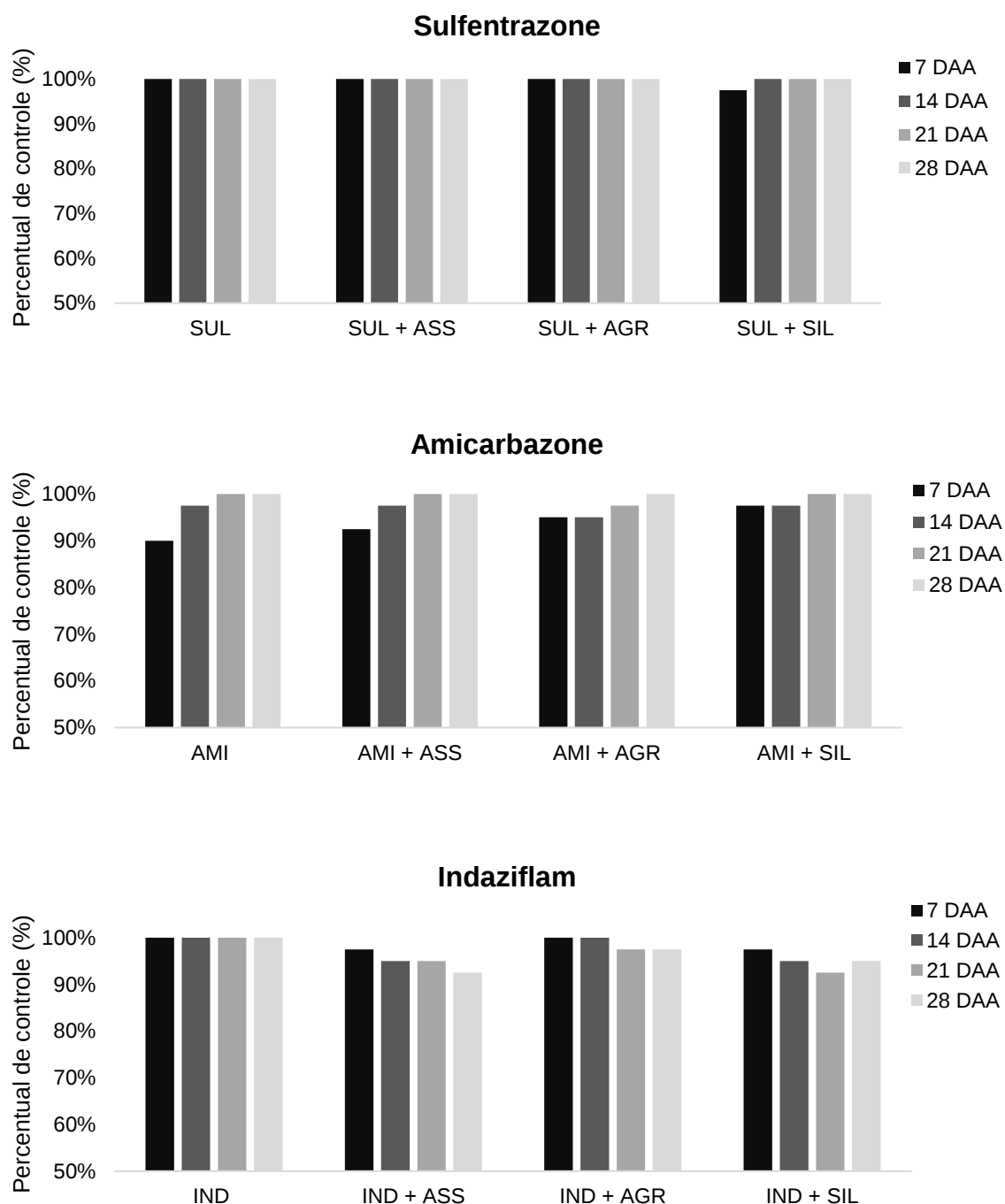
* Percentual de notas atribuídas, de forma visual, tomando-se como base a escala de ALAM (1974).
 Herbicidas: sulfentrazone (SUL); amicarbazone (AMI); indaziflam (IND).
 Adjuvantes: Assist (ASS); Agral (AGR); Silwet (SIL).

As caldas fitossanitárias contendo o herbicida sulfentrazone, de forma isolada e em misturas com os demais adjuvantes, alcançaram grau de excelência no controle de plantas de daninhas de *Ipomoea grandifolia*, em todos os momentos de análises (7, 14, 21 e 28 DAA). Esses produtos obtiveram controle total das plantas daninhas, nas aplicações realizadas sobre a palha da cana-de-açúcar somadas a lâmina de chuva de 20 mm (Figura 45).

Em concordância com os dados adquiridos nas aplicações realizadas sobre a espécie de *B. decumbens*, as caldas fitossanitárias contendo o herbicida amicarbazone alcançaram controle total da corda-de-viola. O herbicida obteve grau de excelência nas aplicações sobre a palha da cana-de-açúcar, na presença da lâmina de chuva, 24 horas após as aplicações.

Também em concordância com os resultados alcançados nas aplicações realizadas sobre a espécie de *Brachiaria decumbens*. O mesmo aconteceu com a calda fitossanitária contendo o herbicida indaziflam de forma isolada. Esse produto controlou de forma total a *I. grandifolia* durante todo o período de análise (aos 7, 14, 21 e 28 DAA), nas aplicações realizadas sobre a palha da cana-de-açúcar e lâmina de chuva de 20 mm. Em contrapartida, a aplicação deste herbicida em misturas com adjuvantes e associado a lâmina de chuva, reduziu o grau de controle.

Figura 45 – Percentual do controle de *Ipomoea grandifolia* aos 7, 14, 21 e 28 dias após aplicação (DAA) de herbicidas, aplicados sobre a palha da cana-de-açúcar (10 t ha⁻¹) e lâmina de chuva (20 mm, 1 DAA)



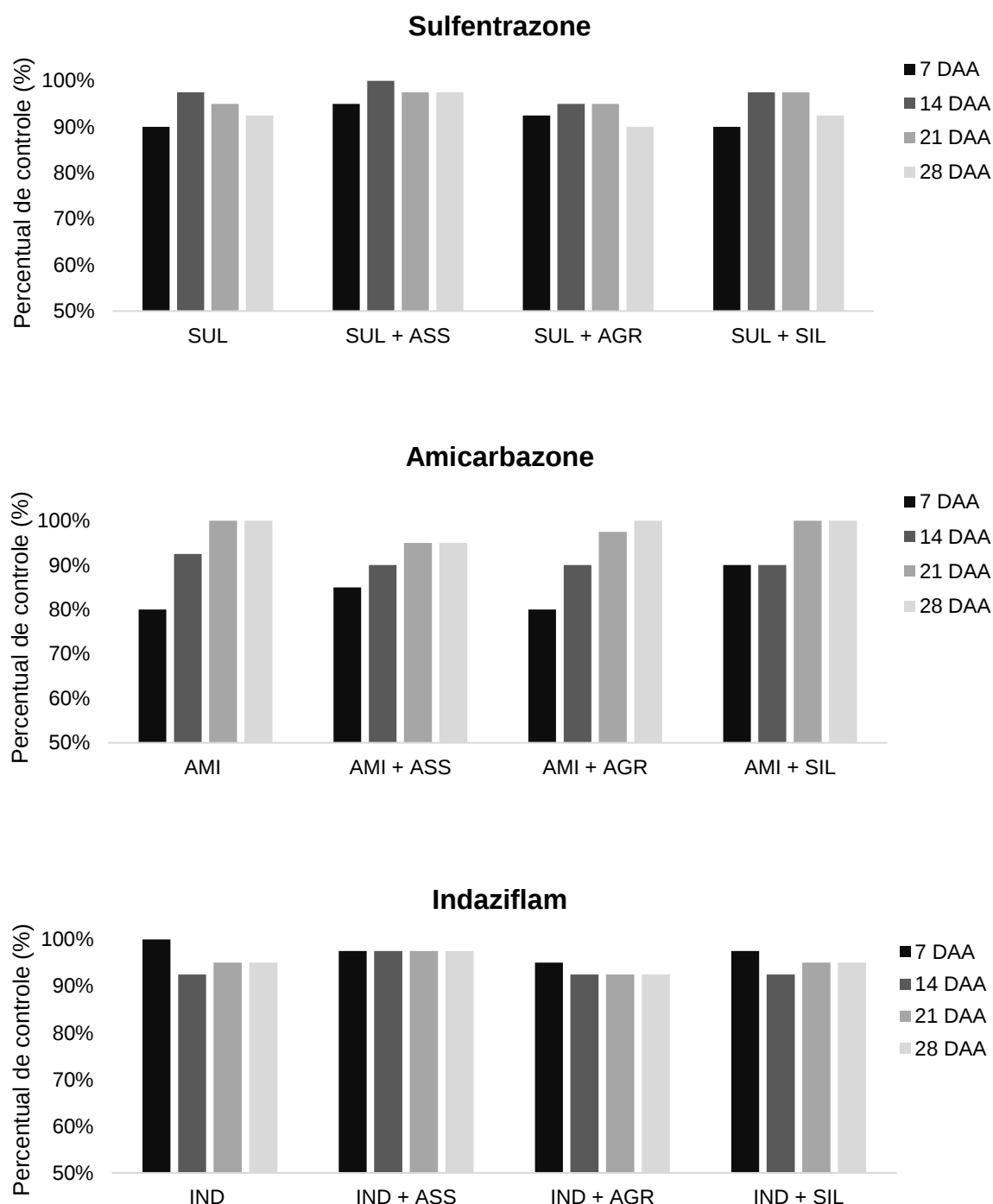
* Percentual de notas atribuídas, de forma visual, tomando-se como base a escala de ALAM (1974).
 Herbicidas: sulfentrazone (SUL); amicarbazone (AMI); indaziflam (IND).
 Adjuvantes: Assist (ASS); Agral (AGR); Silwet (SIL).

A aplicação convencional de herbicidas diretamente no solo, proporciona modificações no seu comportamento, esses produtos ficam sujeitos a processos físicos e biológicos que interferem a sua eficácia e níveis de resíduos.

Dessa forma, foi possível analisar que as caldas fitossanitárias contendo o herbicida sulfentrazone, de forma isolada e em misturas com os demais adjuvantes, somadas com uma lâmina de 20 mm de chuva, alcançaram grau de excelência no controle de plantas de daninhas de *Brachiaria decumbens*, em todos os momentos de análises (7, 14, 21 e 28 DAA). Com exceção da mistura deste herbicida com o espalhante adesivo, essa solução obteve um grau inferior no controle da planta daninha (Figura 46).

Embora nos primeiros momentos de análise visual (7 DAA) o herbicida amicarbazone tenha alcançado percentual de redução muito bom e bom, as caldas fitossanitárias contendo esse herbicida de forma isolada e em associação ao espalhante adesivo e ao surfactante, controlou totalmente a *B. decumbens*, ao longo do tempo, com a utilização da lâmina de chuva. Com exceção da calda contendo o herbicida em mistura com óleo mineral, essa solução manteve a redução ao grau muito bom até o último momento de análise (28 DAA).

Figura 46 – Percentual do controle de *Brachiaria decumbens* aos 7, 14, 21 e 28 dias após aplicação (DAA) de herbicidas, aplicados sobre o solo nu (sem a presença de palhada) e lâmina de chuva (20 mm, 1 DAA)



* Percentual de notas atribuídas, de forma visual, tomando-se como base a escala de ALAM (1974).
 Herbicidas: sulfentrazone (SUL); amicarbazone (AMI); indaziflam (IND).
 Adjuvantes: Assist (ASS); Agral (AGR); Silwet (SIL).

As caldas fitossanitárias contendo o herbicida sulfentrazone alcançou de excelência de redução da espécie de *Ipomoea grandifolia* durante todos os períodos de análises (7, 14, 21 e 28 DAA), esse alcance foi significativo na presença da lâmina de chuva de 20 mm, aplicado no solo sem a cobertura de palha da cana-de-açúcar (Figura 47).

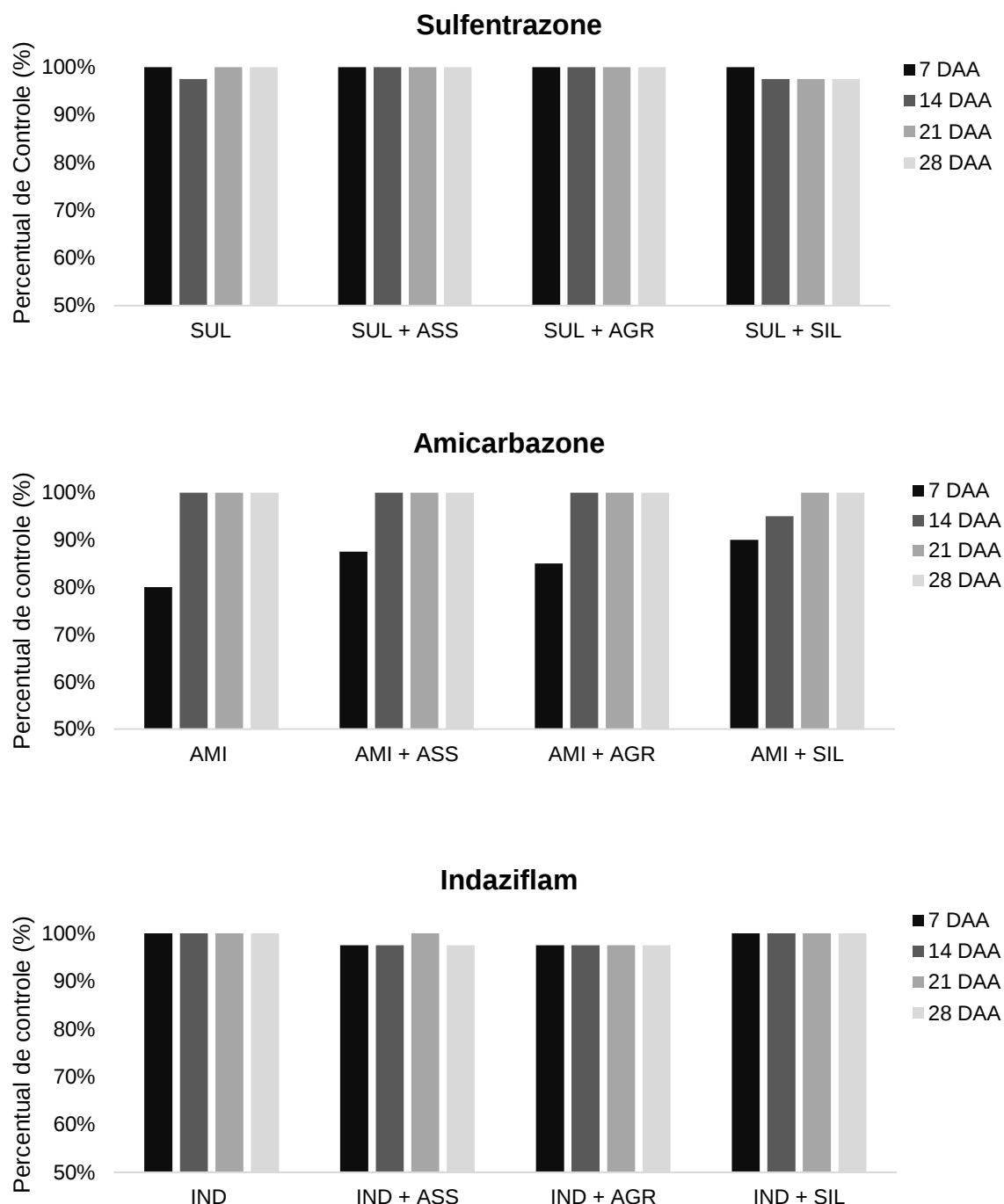
A associação do herbicida sulfentrazone com o óleo mineral e deste herbicida com o espalhante adesivo proporcionou controle total da planta daninha na presença de chuva. Além disso, a calda fitossanitária contendo apenas o herbicida sulfentrazone de forma isolada com a utilização da lâmina de chuva de 20 mm, também promoveu redução total de *I. grandifolia*.

O mesmo comportamento pode ser analisado com o emprego do herbicida amicarbazone, este produto controlou totalmente a planta daninha na presença da lâmina de chuva. Posto que, no início das análises (aos 7 DAA), as avaliações do herbicida já apresentavam elevada porcentagem de controle, através de notas compreendendo em bom (AMI, AMI + ASS e AMI + AGR) e muito bom (AMI + SIL).

Nessa perspectiva, as caldas fitossanitárias contendo o herbicida indaziflam também alcançaram grau de excelência de redução da corda-de-viola durante todos os períodos de análises (aos 7, 14, 21 e 28 DAA), na presença da lâmina de chuva de 20 mm.

A calda contendo o herbicida indaziflam de forma isolada obteve controle total da planta daninha quando aplicados na presença de chuva. Além de alcançar controle total em misturas com o molhante surfactante, com a adição da lâmina de chuva 24 horas após a aplicação.

Figura 47 – Percentual do controle de *Ipomoea grandifolia* aos 7, 14, 21 e 28 dias após aplicação (DAA) de herbicidas aplicados sobre o solo nu (sem a presença de palhada) e lâmina de chuva (20 mm, 1 DAA)



* Percentual de notas atribuídas, de forma visual, tomando-se como base a escala de ALAM (1974).
 Herbicidas: sulfentrazone (SUL); amicarbazone (AMI); indaziflam (IND).
 Adjuvantes: Assist (ASS); Agral (AGR); Silwet (SIL).

4.5.2 Determinação da massa seca da parte aérea das plantas daninhas

Os valores resultantes de massa seca das plantas daninhas estão descritos na Tabela 12.

As médias dos valores alcançados das massas secas de *Brachiaria decumbens*, das aplicações realizadas com as caldas fitossanitárias contendo o herbicida sulfentrazone na presença e ausência de palha da cana-de-açúcar, não diferiram entre os tratamentos.

O mesmo comportamento pode ser observado com a aplicação deste mesmo herbicida no controle *Ipomoea grandifolia* na presença e ausência da palha da cana-de-açúcar, foi possível alcançar o decesso da planta daninha. Os dados de massa seca das plantas controladas com esse produto, na presença e ausência de palha, não diferiram das médias obtidas com as demais misturas de adjuvantes, pois os resultados foram alcançados através do controle total da planta daninha.

Tratando-se das aplicações realizadas pelas caldas fitossanitárias constando o herbicida amicarbazone, foi possível identificar médias de valores de massa seca que não diferiram entre as misturas de adjuvantes, na presença e ausência de palha da cana-de-açúcar, para as duas espécies de plantas daninhas.

No que refere ao herbicida indaziflam, as caldas fitossanitárias desse herbicida mantiveram comportamento desigual nas devidas modalidades de aplicação. Com a utilização da calda contendo apenas o herbicida de forma isolada, foi plausível o controle total das plantas daninhas de *B. decumbens* na presença da palha da cana-de-açúcar e controle total de *I. grandifolia* na presença e ausência de palha. Logo, também não foi possível obter dados de biomassa seca para esses tratamentos.

O emprego das caldas fitossanitárias do herbicida em associação com o óleo mineral proporcionou comportamento semelhante para obtenção de matéria seca para as duas espécies de plantas daninhas deste estudo. Nesse sentido, os dados obtidos com a presença de palhada alcançaram maiores valores em comparação aos números alcançados pela não utilização de palha da cana-de-açúcar.

Os valores de matéria seca de *B. decumbens* atribuídos nas aplicações realizadas através do herbicida indaziflam em misturas com o espalhante adesivo e presença de palhada, alcançaram valores mais expressivos, no entanto, não diferiram dos valores das massas alcançados pela espécie de *I. grandifolia* na presença e ausência de palha da cana-de-açúcar.

No entanto, os dados de matéria seca alcançados nas aplicações com as caldas contendo a associação do herbicida indaziflam com o adjuvante surfactante foram diversificados para cada modalidade. A aplicação desse produto na ausência de palha proporcionou os menores valores de biomassa seca para *B. decumbens* e *I. grandifolia*, essa última com o alcance do controle total da planta daninha. Já as aplicações com a utilização de palha da cana-de-açúcar resultaram em maiores valores para as duas espécies de plantas daninhas.

É importante salientar que todos os tratamentos receberam uma lâmina de 20 mm de chuva 1 DAA, e que os dados obtidos de matéria seca das testemunhas (plantas que não receberam aplicações de caldas fitossanitárias), sempre foram superiores aos tratamentos utilizados neste estudo, na presença e ausência de palhada da cana.

Tabela 12 – Determinação da massa seca das plantas daninhas de *Brachiaria decumbens* e *Ipomoea grandifolia* ao final do ensaio (28 DAA) com relação a testemunha, nas aplicações fitossanitárias na presença e ausência da palha da cana-de-açúcar (10 t ha⁻¹) acrescentadas de aplicação de lâmina de chuva (20 mm, 1 DAA)

Tratamento	<i>B. decumbens</i>		<i>I. grandifolia</i>	
	Com palha	Sem palha	Com palha	Sem palha
Sulfentrazone	0,0273 ^a	0,0388 ^a	0 ^a	0 ^a
Sulfentrazone + Assist	0,0194 ^a	0,0374 ^a	0 ^a	0 ^a
Sulfentrazone + Agral	0,0697 ^a	0,0877 ^a	0 ^a	0 ^a
Sulfentrazone + Silwet	0,057 ^a	0,0464 ^a	0,0024 ^a	0,0029 ^a
Testemunha	1,117 ^b	0,4929 ^a	0,0814 ^b	0,0263 ^a
DMS (5%)	0,07	0,46	0,05	0,04
C.V. (%)	11,38	144,10	141,88	275,28
Amicarbazone	0,03 ^a	0,0617 ^{ab}	0,0035 ^a	0,0084 ^a
Amicarbazone + Assist	0,0243 ^a	0,0424 ^a	0,0025 ^a	0,0097 ^a
Amicarbazone + Agral	0,0331 ^a	0,0516 ^{ab}	0,0043 ^a	0,006 ^a
Amicarbazone + Silwet	0,0321 ^a	0,0583 ^{ab}	0,0011 ^a	0,0056 ^a
Testemunha	1,117 ^b	0,4929 ^b	0,0814 ^b	0,0263 ^a
DMS (5%)	0,07	0,45	0,06	0,04
C.V. (%)	11,87	140,62	133,10	144,89
Indaziflam	0 ^a	0,0122 ^a	0 ^a	0 ^a
Indaziflam + Assist	0,064 ^{ab}	0,0071 ^a	0,0242 ^a	0,002 ^a
Indaziflam + Agral	0,0449 ^{ab}	0,0534 ^{ab}	0,0122 ^a	0,0173 ^a
Indaziflam + Silwet	0,1718 ^b	0,0148 ^a	0,0407 ^a	0 ^a
Testemunha	1,117 ^c	0,4929 ^b	0,0814 ^a	0,0263 ^a
DMS (5%)	0,16	0,46	0,09	0,05
C.V. (%)	25,49	176,04	128,17	219,71

* As médias seguidas por letras iguais, na mesma coluna e utilização do mesmo herbicida, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

5 DISCUSSÃO

É de suma importância o conhecimento das possíveis implicações físicas e químicas das caldas fitossanitárias, além da prática que possam afetar a qualidade, eficiência e eficácia nas aplicações. Visto que, um produto que exerce atividade fitossanitária dificilmente é aplicado no alvo de forma pura (KISSMAN, 1998).

Dessa forma, alguns elementos que compõem a calda fitossanitária podem comprometer os resultados levando a incompatibilidade e interferência nas aplicações. O aumento da condutividade elétrica feita apenas com água e adjuvante pode se dar em função das características intrínsecas da formulação do adjuvante (OLIVEIRA, 2011).

Os resultados obtidos nas análises de condutividade elétrica, apresentaram modificações ao longo do tempo. Segundo Rheinheimer e Souza (2010), essas modificações podem ser alteradas pela composição dos componentes presentes na calda, logo, podem resultar na menor eficácia dos produtos.

Cunha, Alves e Marques (2017) mencionaram que a adição de adjuvantes à calda de herbicidas aumenta de forma significativamente a condutividade elétrica. Em contrapartida, os resultados obtidos neste trabalho descreveram as reduções de condutividade elétrica nas misturas com os adjuvantes, ao longo das leituras das aplicações.

As misturas de caldas fitossanitárias de diferentes categorias de defensivos envolvem a interação de formulações, solventes, adjuvantes e marcas de produtos, estando susceptíveis a problemas de incompatibilidade de calda (OLIVEIRA *et al.*, 2021). Esses problemas estão relacionados da forma que as misturas irão se comportar após o preparo, quando se tem: decantação, floculação, granulação; formação de precipitados; separação de fases e química, quando ocorre a alteração da eficiência dos ingredientes ativos das formulações (OLIVEIRA *et al.*, 2021; RAKES *et al.* 2018).

De acordo com Azevedo e Freire (2006), esse tipo de incompatibilidade como, por exemplo, a floculação, podem ocorrer devido alterações físico-químicas da calda,

alto tempo de armazenamento sem agitação e elevada concentração dos produtos no momento da mistura. O presente trabalho descreveu que as caldas fitossanitárias sofreram modificações pelo menos um momento das leituras de análises, como: formação de grumos na presença e ausência de herbicidas com adjuvantes, sedimentação em pelo menos dois horários de análise, alterações de fases, surgimento de cristais, formação de creme e espuma. Todavia, não houve modificações físico-químicas com os surgimentos de floculação e suspensão em óleo.

Oliveira et al., (2021) salientaram que a formação de grumos ocorre pela inibição de dispersão adequada e pela estabilidade química dos produtos misturados. Já a separação de fases está relacionada à pouca agitação do sistema e os tipos de formulações que são utilizados nas misturas.

Alguns produtos podem sofrer a incapacidade de misturas, resultando na formação de flocos, sedimentos, separação de fases, suspensão em óleos, formação de grumos, cristas e creme, pode ser uma condição física o que tornam a calda com concentrações heterogêneas, podendo diminuir a eficiência dos produtos utilizados nas aplicações (PETTER et al., 2013). Silva et al. (2007) informaram que a compatibilidade das caldas também pode estar relacionada às propriedades químicas dos ingredientes ativos e formulações que constitui os produtos.

É importante frisar que além das alterações físico-químicas das caldas, esses problemas podem levar a incompatibilidade das substâncias, limitar o funcionamento dos equipamentos, entupimento dos filtros e ponta de pulverização. Logo, é indispensável o conhecimento dos tipos de formulações, a ordem e o número de produtos que irão para a mistura.

As diferentes funções e propriedades dos adjuvantes demandam a necessidade do conhecimento do comportamento que cada produto fitossanitário sofrerá. Carbonari et al. (2005) revelam que a utilização adequada dos adjuvantes nas misturas com herbicidas, tem capacidade de diminuir as perdas da pulverização para o ambiente.

As misturas de herbicidas com adjuvantes, modificaram o comportamento dos produtos fitossanitários deste estudo. De modo geral, reduziram a tensão superficial

e o ângulo de contato das soluções depositadas na superfície de palha de cana-de-açúcar.

De acordo com Cunha (2009), a tensão superficial possui grande importância nas aplicações fitossanitárias, sendo a tensão superficial a responsável por aumentar o espalhamento na superfície do alvo e, como resultado, a adesividade e retenção do produto.

Os dados obtidos neste trabalho descreveram reduções das tensões superficiais das caldas fitossanitárias, com a utilização do óleo mineral em associação com os herbicidas. Os dados obtidos foram: 45,92 mN m⁻¹ em mistura com o herbicida sulfentrazone, 37,88 mN m⁻¹ com o herbicida amicarbazone e 59,73 mN m⁻¹ para o indazifam.

Segundo Melo *et al.* (2015), a redução da tensão superficial pode ocasionar maior acúmulo de ingrediente ativo de um produto fitossanitário na superfície vegetal. Singh e Singh (2008) concluíram que alguns adjuvantes são capazes de reduzir a tensão superficial em valores similares ao encontrados em alguns adjuvantes e misturas (de 19 a 25 mN m⁻¹) tem a capacidade de aumentar a absorção e translocação de herbicidas sistêmicos, o que pode aumentar a eficiência em plantas daninhas de difícil controle.

Nesse sentido, Harrison *et al.* (1986) e Nalewaja *et al.* (1994) acrescentaram que os óleos minerais são utilizados para reduzir evaporação da gota de água, melhorar a performance do produto obtendo um melhor espalhamento devido à baixa tensão superficial provocada por surfactantes presentes na formulação óleo, e também para aplicação em condição desfavoráveis, melhorando com isso sua adesividade, além de manter a estabilidade do herbicida mais solvente orgânico na água de pulverização.

Ao avaliar a tensão superficial de diferentes óleos minerais, Mendonça *et al.* (2007), adquiriram menores valores da tensão superficial na maioria dos óleos testados, com destaque para os óleos minerais Assist, Dytrol, Iharol e Mineral Oil, com valores de tensão superficial abaixo de 30 mN m⁻¹. Todavia, mesmo com a utilização de altas concentrações dos adjuvantes, não promoveram diminuições significativas na tensão superficial. Os autores concluíram que a tensão superficial não é

determinada pela origem do óleo, mas pela qualidade e quantidade do emulsificante adicionado a sua formulação.

Matuo *et al.* (1989) concluíram que o efeito do adjuvante Agral apresentou tensão igual a $32,3 \text{ mN m}^{-1}$ em determinadas concentrações do produto e mistura de caldas. Corroborando com os dados alcançados neste trabalho, nas associações de herbicidas obtidos com o espalhante adesivo. Os valores das misturas com os herbicidas foram: $34,74 \text{ mN m}^{-1}$ em associação com o herbicida sulfentrazone, $34,46 \text{ mN m}^{-1}$ em mistura com o herbicida amicarbazone e $35,25 \text{ mN m}^{-1}$ para o herbicida indazifam.

Certificando esses resultados, Mendonça *et al.* (2000) também estudaram esse surfactante, e apresentaram notas mínimas de tensão superficial igual a $30,46 \text{ mN m}^{-1}$. Valores próximos também foi identificado por Costa (1997), esses autores encontraram a mínima tensão superficial próxima a $31,0 \text{ mN m}^{-1}$.

Os dados obtidos neste estudo, com misturas associadas ao adjuvante Silwet, demonstraram diferença na redução da tensão superficial, em comparação as caldas isoladas apenas com os herbicidas. Os resultados obtidos foram: $21,91 \text{ mN m}^{-1}$ em mistura com o herbicida sulfentrazone, $21,87 \text{ mN m}^{-1}$ com o herbicida amicarbazone e $21,37 \text{ mN m}^{-1}$ para o indazifam. Esses resultados não diferiram entre si pelo teste de média, em comparação aos diferentes herbicidas.

Resultados semelhantes também foram alcançados por por Iost e Raetano (2010). Os autores concluíram que a adição em solução aquosa do surfactante siliconado Silwet proporcionou redução da tensão superficial.

Ao estudar diferentes formulações de adjuvantes, Montório (2001) concluiu que, dos surfatantes que permitiram alcançar as tensões superficiais de 70, 60, 50, 40, 35, 30, 25 e 20 mN.m^{-1} , concluiu que somente os surfatantes organosiliconados Silwet conseguiu atingir a tensão superficial de 20 mN m^{-1} . Tal comportamento também é verificado na concentração de 25 mN m^{-1} . Corroborando com as médias dos dados apresentados neste estudo.

Ao estudarem o mesmo surfactante, Costa (1997) e Mendonça *et al.*, (2000) identificaram os efeitos de surfactantes sobre a tensão superficial em soluções de

glyphosate, esses autores identificaram média dos valores da mínima tensão superficial para o siliconado Silwet próximos a 19 mN m^{-1} .

Segundo Gaskin e Stevens (1993), o uso de adjuvantes organosiliconados associados com outros produtos podem ser absorvidos pelos estômatos devido aos baixos valores de tensão superficial. Os estômatos podem funcionar como uma rota para absorção de herbicidas, desde a calda pulverizada possua baixa tensão superficial para ocorrer à penetração através da utilização de um surfactante (MENDONÇA, 2000).

Conforme analisado por Knoche e Bukovac (1993), os surfatantes organosiliconados são mais eficientes que os demais adjuvantes quando são submetidos a chuvas após 15 e 30 minutos.

Além da tensão superficial, é importante compreender o comportamento do ângulo de contato dos diferentes produtos e superfícies, dentre elas a superfície de palha. Em vista disso, através desse tipo de análise é possível obter respostas de interação nas diferentes espécies de plantas daninhas, devido à dificuldade de formação de barreira na superfície para a chegada dos produtos até o alvo e por fim, controlar as plantas daninhas.

Os adjuvantes são utilizados para reduzir o ângulo de contato da gota depositada com a superfície. Todavia, esses produtos podem interferir nas propriedades químicas e físicas das caldas, modificando a interação do produto com a superfície. Além disso, é preciso considerar as características morfológicas dos alvos que receberão esses produtos, como as folhas, o solo e até mesmo a cobertura de palha, pois esta poderá interferir na dinâmica do espalhamento da gota (KISSMANN, 1998).

O espalhante adesivo Agral foi o produto de melhor desempenho nas misturas de caldas fitossanitárias deste estudo, com o objetivo de espalhamento de gotas na superfície de palha de cana-de-açúcar. A associação desse adjuvante com os herbicidas influenciou o comportamento das caldas fitossanitárias, resultando em melhores espalhamentos.

É de suma importância considerar o nível de molhabilidade da água. Neste trabalho, o ângulo de contato da gota de água, na superfície de palha, ficou em média

91,56°, portanto, essa nota superou os herbicidas em sua forma isolada, com exceção do herbicida indaziflam. Em vista disso, a água possui propriedades polares que, através de pontes de hidrogênio geram fortes interações biológicas em meio aquoso, as quais podem ser repulsivas ou atrativas. (VAN OSS *et al.*, 2001).

Assim como o espalhante adesivo, a utilização do óleo mineral nas caldas fitossanitárias, deste estudo, também foi promissora. Ao utilizar o adjuvante nas misturas de caldas, os resultados obtidos foram: 61,33° em misturas com o herbicida amicarbazone, 64,50° para o herbicida indaziflam e 85,01° para o sulfentrazone.

Maciel *et al.* (2010) compreenderam que nem sempre o uso de adjuvantes estabelecerá condição favorável à cobertura de calda sobre um determinado alvo, principalmente quando não se considera os efeitos sobre o espalhamento e as diferentes composições anatômicas. Logo, os mecanismos que governam os processos de retenção e espalhamento de herbicidas ocorrem de forma distinta para cada herbicida, solo e seu ecossistema, e a heterogeneidade desse meio difere a previsão de comportamento desses compostos (PUSINO, 1993; PUSINO *et al.*, 2004).

Iost e Raetano (2010) também acrescentaram que o ângulo de contato formado entre líquido e superfície não depende apenas da solução aplicada, mas também das características da superfície onde a solução está sendo aplicada.

Uma pesquisa realizada por Soares (2018), com o objetivo de constatar as variações da tensão superficial e do ângulo de contato de caldas sobre superfícies artificiais, em função do tempo, do volume de aplicação e da dosagem de herbicida, constatou-se uma redução da tensão superficial e do ângulo de contato, até 20 segundos após a formação da gota e seu depósito sobre a superfície, pois a partir deste ponto a variação diminui. O autor concluiu que essas variações de tensão e ângulo de contato apresentam forte correlação entre si, e que existiu indicativos de limites entre tensão e ângulo de contato, evidenciando pontos de inflexão onde um fator deixa de incrementar o outro e passa a diminuí-lo.

Muitos adjuvantes melhoram a eficiência de herbicidas por aumentarem a capacidade de molhamento da calda, esses produtos têm a função de diminuir a tensão superficial das gotículas reduzindo o ângulo de contato destas com a

superfície, além disso, facilitam a penetração de produtos sistêmicos pela cutícula das plantas (SINGH; MACK, 1993).

No entanto, o uso indevido de adjuvantes pelo desconhecimento de sua ação, pode prejudicar a ação do produto principal ou então não causar mudanças significativas, que tornaria o adjuvante desnecessário, pois o processo de formação de gota pelas pontas pode ser alterado de acordo com a característica física da calda, da qual gera mudanças de acordo com o adjuvante utilizado (ANTUNIASSI; BAIO, 2008, DURIGAN; CORREIA, 2008).

A eficiência de uma aplicação fitossanitária necessita de técnicas que proporcionem a melhor cobertura superficial e depósito de produtos adequados para que se possa atingir o alvo de interesse. Vários estudos tem demonstrado que o emprego de gotas menores que 100 μm (ARVIDSSON *et al.*, 2011; BAESSO *et al.*, 2014; CHAIM, 2015), promovem os melhores resultados no controle de problemas fitossanitários, por proporcionarem maior cobertura do alvo.

Todavia, gotas menores que 100 μm tendem a ser arrastadas com maior facilidade pelo vento. Por outro lado, com o aumento no diâmetro, menores serão as perdas de gotas por deriva (MATUO, 1990). Além disso, gotas pequenas possuem pouca energia cinética e ficam mais sujeitas à deriva e evaporação, o que faz com que suas capturas pelo alvo sejam reduzidas sendo menos seguras do ponto de vista ambiental (SASAKI *et al.*, 2015).

Em contrapartida, gotas acima de 800 μm proporcionam menores coberturas nos alvos e tendem a sofrer maior percentual de escoamento. Ou seja, quanto menor essa porcentagem, menor o risco de perdas durante uma aplicação de produto fitossanitário (BUENO *et al.*, 2013).

De modo geral, os adjuvantes modificaram os tamanhos das gotas deste estudo, com ênfase ao surfatante, este adjuvante proporcionou redução no percentual do volume de gotas menores que 100 micrômetros nas caldas fitossanitárias contendo os herbicidas sulfentrazone e indaziflam.

lost (2008) ao estudar diferentes concentrações de produtos em misturas com herbicidas, concluiu que o aumento da concentração dos produtos contendo o surfactante proporcionou redução significativa do volume de gotas com tamanho

menor que 100 μm , além disso, proporcionou o aumento do DMV das gotas produzidas.

Foi confirmado, neste estudo que não houve diferença significativa nos valores de DMV das gotas atribuídas ao herbicida sulfentrazone, com exceção da mistura deste herbicida com o surfactante Silwet, pois essa solução adquiriu a maior média do diâmetro mediano volumétrico de gotas. Isso ocorre por que este grupo de adjuvantes possui grande capacidade de diminuir as forças de ligação entre as moléculas no líquido (IOST; RAETANO, 2010).

O alto valor do DMV para o adjuvante siliconado, pode ser evidenciado pelo fato deste produto possuir baixa tensão superficial. O surfactante siliconado Silwet mostrou ser mais eficiente quando comparado a surfactantes não siliconados, alcançando menores valores de tensões mínimas quando comparados aos surfactantes não siliconados (MONTÓRIO *et al.* 2005).

O mesmo aconteceu com no trabalho desenvolvido por Cunha Bueno e Ferreira (2010), esses autores constataram que o adjuvante reduziu o valor do diâmetro mediano volumétrico, o qual explica as características dos adjuvantes modificarem as características físicas da calda.

Todavia, a menor média foi adquirida em misturas com o espalhante adesivo Agral, este produto pouco influenciou no percentual do volume de gotas para os herbicidas, neste estudo. Em concordância, Butler Ellis *et al.* (1997) compararam os adjuvantes Agral e Silwet, esses autores concluíram um aumento de 29% no DMV em relação ao Agral. Dessa forma, dependendo do tipo de ponta utilizada, o adjuvante poderá ter capacidade de reduzir ou aumentar o DMV das gotas pulverizadas (FERREIRA *et al.*, 2011).

A escolha do tamanho ideal de gotas para o sucesso de uma aplicação fitossanitária, deve-se considerar parâmetros relacionados as propriedades dos produtos utilizados; propriedades físico-químicas da calda, especialmente quanto a sua capacidade de espalhamento sobre a superfície alvo; além das condições ambientais no momento da aplicação, como a velocidade do vento, umidade relativa do ar e temperatura (Matuo, 1990).

Essas informações são necessárias para compreender as causas de ineficiência das aplicações, principalmente por se tratar de perdas por deriva. Esse fator pode ser gerenciado pela uniformidade das gotas representada pelo span, que é calculado a partir do tamanho de gotas que separa os 10% de volume com gotas menores (dv10), 10% com as gotas maiores (dv90) e o DMV. O span é representado pela razão da diferença entre dv90 e dv10 pelo DMV. Logo, quanto menor é o span mais uniformes são as gotas.

Os dados obtidos neste trabalho concluíram que não houve redução significativa do span nos tratamentos utilizados pelo herbicida amicarbazone, pois os adjuvantes não influenciaram o comportamento deste herbicida. Além disso, A adição do óleo mineral e do espalhante adesivo não influenciaram a uniformidade de gotas do herbicida sufentrazone.

Nesse sentido, a utilização do surfatante organosilicone na associação com o herbicida sulfentrazone aumentou a média de valores do span, influenciando de forma negativa a sua uniformidade. Entretanto, quanto maior o valor do span, mais desuniformes serão as gotas, um espectro de gotas homogêneo tem valor de amplitude tendendo à zero (CUNHA; BUENO; FERREIRA, 2010).

É importante enfatizar que uma melhor uniformidade de distribuição de gotas é de suma importância, pois possibilita que as aplicações sejam feitas com gotas de diâmetro mais próximo do escolhido, sem que haja excesso de números menores e maiores, tendendo a um equilíbrio, evitando perdas por deriva ou por escorrimento, respectivamente (FERGUSON *et al.*, 2015).

Foi possível correlacionar as variáveis de percentuais do volume de gotas menores que 100 μm com o diâmetro mediano volumétrico, tal comportamento foi alcançado através da correlação inversa desses fatores. A mesma correlação foi identificada em trabalhos de Costa (2006) e Oliveira (2011).

Iost (2008) concluiu que, ao aumentar a dose do adjuvante Silwet nas soluções, aumentou o diâmetro mediano volumétrico e, conseqüentemente, reduziu o tamanho das gotas com diâmetro menores que 100 μm .

Com o aumento do DMV é observada diminuição do percentual de gotas menores que 100 μm . Em contrapartida, um trabalho realizado por Mota (2011), com

a utilização de outros produtos, a correlação foi proporcional para os dois fatores, isto é, quando houve aumento do DMV o parâmetro do percentual de gotas menores que 100 μm também aumentou, refletindo assim comportamento contrário ao encontrado nesse trabalho.

O mesmo comportamento pode ser observado na relação inversa entre o parâmetro amplitude de dispersão (Span) e o diâmetro mediano volumétrico, com a utilização dos herbicidas sulfentrazone e indaziflam. Logo, aumentando o diâmetro mediano volumétrico o parâmetro amplitude de dispersão contrariamente diminui.

A melhor estratégia para a escolha ideal do herbicida deve ser fundamentada nos critérios técnicos relacionados às variáveis ambientais. Portanto, isso que determina a eficácia no controle das plantas daninhas, seletividade para a cultura da cana-de-açúcar e o grau de impacto desses produtos no agroecossistema.

Estudos realizados por diversos autores verificou-se que em algumas espécies predominantes na cultura de cana-de-açúcar há desenvolvimento diferenciado em função da quantidade de palha depositada no solo (MEDINA MELENDEZ, 1990; VELINI *et al.*, 2000).

Resultados obtidos neste estudo demonstram excelência no controle de *Brachiaria decumbens*, através de aplicações do herbicida sulfentrazone, em 20 toneladas por ha^{-1} de superfície de palhada de cana-de-açúcar, somados com uma lâmina de chuva de 20 mm, 24 horas após as aplicações dos produtos. Esses resultados foram alcançados logo no início das análises. Negrisoni *et al.* (2004) também observaram adequada atividade do herbicida sulfentrazone aplicado sobre a palha, quando foi estabelecida a deposição da lâmina de 20 mm um dia após sua aplicação.

Isso corresponde com os dados de biomassa seca obtidos no final das análises de controle com a utilização da lâmina de chuva. Em concordância, Carbonari *et al.* (2008) comprovaram que alguns herbicidas apresentaram controle satisfatório para as espécies de *I. grandifolia* quando aplicado sobre o solo nu e quando aplicado sobre 6 t ha^{-1} de palha seguido de lâmina de 30 mm de chuva. Todavia, o controle foi insatisfatório quando o produto foi aplicado sobre a mesma quantidade de palha, mas sem a aplicação de lâminas de chuva.

É importante salientar que alguns produtos são lixiviados para o solo após aplicação de uma lâmina de 20 mm, mas outros não e permanecem retidos na palhada (RODRIGUES *et al.*, 1998). Além disso, Simoni *et al.* (2006) afirmaram que uma lâmina de água de 10 mm não foi suficiente para transpor o herbicida sulfentrazone por uma camada de 20 t ha⁻¹ de palha de cana de açúcar.

Velini (1992) salientou que a ocorrência da lixiviação é de grande importância para a incorporação superficial da maioria dos herbicidas, considerando o alcance de sementes ou plantas em germinação, no entanto, pode carregá-los para camadas mais profundas do solo, limitando sua ação e até mesmo contaminando o lençol freático.

O mesmo comportamento foi semelhante para a utilização do herbicida sulfentrazone no controle de *Ipomoea grandifolia*, dando ênfase aos resultados de deposição da lâmina de chuva na camada de palhada após aplicações das caldas fitossanitárias. Esses dados estão em conformidade com diversos trabalhos que têm demonstrado que uma chuva de 20 mm é suficiente para transportar boa parte dos produtos que estão depositados sobre a palha até a superfície do solo (Rodrigues *et al.*, 2000; Fornarolli *et al.*, 1997).

Ao estudarem a dinâmica do herbicida sulfentrazone em resíduos de cana-de-açúcar, Carbonari *et al.* (2016) constataram que a deposição de uma precipitação de 20 mm, logo após a aplicação do herbicida, foi suficiente para promover a liberação máxima do herbicida independentemente da quantidade de resíduo vegetal empregada (5, 10, 15 e 20 t ha⁻¹). Os autores declararam também que, a não realização da precipitação imediatamente após a aplicação do herbicida pode comprometer o efeito dos produtos, e grande parte do herbicida pode ficar retida nos resíduos de cana, não conseguindo ser recuperada mesmo nas precipitações seguintes.

O herbicida sulfentrazone, quando aplicado sobre 20 t ha⁻¹ de palha da cana-de-açúcar, demandou 20 mm de chuva para que um bom desempenho fosse observado. Esse herbicida suportou mais a permanência na palha, pois apresentou melhor eficácia em relação ao herbicida imazapic quando a chuva foi simulada 168 horas após a aplicação dos herbicidas (SIMONI *et al.*, 2006).

Rodrigues *et al.* (2000) constataram que em área com a presença de palha de cana-de-açúcar sobre o solo, houve redução de até 90% de plantas daninhas da espécie *B. decumbens*.

As aplicações fitossanitárias realizadas sobre a palha da cana-de-açúcar com o herbicida amicarbazone resultaram o controle total de *B. decumbens* e *I. grandifolia* com a utilização e não utilização da lâmina de chuva, 24 horas após as aplicações, neste estudo.

O aumento da quantidade de palha, ocorreu redução na quantidade de herbicida lixiviado por uma chuva simulada de 20 mm, principalmente para quantidades de palha correspondentes a 15 e 20 t ha⁻¹. De acordo com esses resultados foi possível concluir que quanto maior o período de tempo entre a aplicação do herbicida e a ocorrência da deposição da primeira lâmina de chuva, menor foi a lixiviação total do produto, sendo que, os primeiros 20 mm de chuva simulada foram os mais importantes para lixiviação da maior parte do amicarbazone retido pela palha (CAVENAGHI *et al.*, 2007)

Negrisoli *et al.* (2007) também apontaram que a lixiviação por meio da palha da cana-de-açúcar pode ser um processo fundamental para a apropriada absorção e eficácia do herbicida amicarbazone, sobretudo em áreas com aplicação sobre a palhada.

Dados obtidos neste trabalho concluíram que as aplicações realizadas com o herbicida indaziflam alcançou controle total de *Brachiaria decumbens* e *I. grandifolia*, nas aplicações sobre a palha da cana-de-açúcar através da deposição posterior da lâmina de chuva de 20 mm.

Dessa forma, Guerra *et al.* (2015) concordaram que a simulação de precipitação de 20 mm sobre a palha (10 t ha⁻¹) é indispensável para proporcionar o transporte do herbicida indaziflam até o solo onde irá exercer a sua ação como herbicida de pré-emergência. Esses autores verificaram 98% de controle na aplicação sem palha e 85% na aplicação sobre a palha seguida de 20 mm de chuva simulada.

Portanto, quanto maior a quantidade de palha depositada na superfície do solo no momento da aplicação do herbicida indaziflam menor será a sua eficácia, indicando uma possível interceptação e/ou adsorção do herbicida na palha de cana-de-açúcar,

e diminuindo assim a quantidade que é arrastada para o solo. O comportamento deste herbicida pode ser justificado mediante as suas características físico-químicas, uma vez que se trata de um herbicida com baixa solubilidade em água (TOMPKINS, 2010).

De acordo com essas informações, Da Silva *et al.* (2018) também alegaram que quanto maior a interceptação deste herbicida pela palha de cana-de-açúcar, maior será a necessidade de uma maior quantidade de precipitação para que ocorra a transposição do produto da palha até a superfície do solo. Dessa forma, aplicações de indaziflam sobre quantidades elevadas de palha de cana-de-açúcar, podem interferir de forma negativa na eficácia deste herbicida no controle de plantas daninhas.

A lâmina de 20 mm de chuva também foi excelente para somar na eficiência das aplicações de outros herbicidas diferentes deste estudo. Carvalho *et al.* (2006) utilizaram essa mesma lâmina para simular a primeira chuva após a aplicação do herbicida imazapic, em experimento que avaliou influência de períodos de seca sobre a atividade do herbicida, os autores concluíram a existência do controle de plantas daninhas mesmo após períodos prolongados de seca, concluindo que o imazapic é uma alternativa para aplicação em pré-emergência para manejo químico de plantas daninhas em área com palha de cana-de-açúcar.

Muitas variáveis são capazes de influenciar a eficácia de um herbicida quando aplicado sobre a palha da cana-de-açúcar. Velini *et al.* (2003) destacam a interceptação pela palha, a intensidade e quantidade de chuva após sua aplicação, a solubilidade em água do herbicida e sua tendência à sorção, a primeira chuva, que é a mais importante, pois são os 20 mm iniciais os que apresentam a máxima capacidade de transporte.

Utilizando o herbicida sulfentrazone (CARBONARI *et al.*, 2016) e o herbicida amicarbazone (CAVENAGHI *et al.*, 2007), foi possível concluir, através desses trabalhos que, sempre menores quantidades de herbicidas que chegaram ao solo quando aplicados em maiores quantidades de palha. Esses mesmos autores enfatizaram, uma maior importância dos primeiros 20 mm de chuvas após a aplicação sobre a palha de cana-de-açúcar para sua chegada ao solo, independentemente da quantidade de palha.

Em concordância com esses autores, um estudo elaborado para avaliar o controle de *I. hederifolia*, com e sem palha, simulando diferentes lâminas de chuva e diferentes períodos entre a aplicação e a ocorrência das chuvas, foi possível concluir que os 20 mm iniciais de chuva simulados após a aplicação do herbicida sobre a palha de cana-de-açúcar foram suficientes para obtenção do controle das plantas daninhas (CORREIA *et al.*, 2013).

6 CONCLUSÕES

Foram constatadas modificações na qualidade físico-química das caldas, a pesar disso, esses efeitos foram compatíveis nas misturas dos herbicidas com os adjuvantes e, conseqüentemente, não interferiam na qualidade das aplicações.

A ação dos adjuvantes contribuiu para modificações da tensão superficial e ângulo de contato de formação de gotas, além de alterar a condutividade elétrica das soluções. Nesse sentido, as caldas fitossanitárias em misturas com os adjuvantes demonstraram comportamentos diferenciados, em comparação a sua forma isolada, como a redução do tamanho e volume das partículas, espalhamento das gotas no alvo (palha).

O herbicida indaziflam diferiu nas misturas dos diferentes adjuvantes e em sua forma isolada. Já os herbicidas sulfentrazone e amicarbazone tiveram comportamentos semelhantes, alcançaram maiores concentrações da passagem pela palha e não diferiram nas misturas das soluções e formas isoladas.

Apesar dos efeitos dos adjuvantes nas características da calda, interação com a palha e passagem pela palha com a água da chuva, foram obtidos resultados satisfatórios de controle das plantas daninhas com os diferentes herbicidas e combinações com adjuvantes, na presença e ausência de palha da cana-de-açúcar.

REFERÊNCIAS

- ABRAMO FILHO, J. *et al.* Resíduos da colheita mecanizada de cana crua. **Álcool & Açúcar**, n 67, p. 23–25, 1993.
- AGROFIT – Sistemas de Agrotóxicos Fitossanitários. MAPA - Coordenação-Geral de Agrotóxicos e Afins/DFIA/DAS. Consulta de ingrediente ativo. Disponível em: Acessado 20 abril 2022.
- ALAM - Asociación Latinoamericana de Malezas. Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluación en ensayos de control de malezas. *ALAM* 1:35-38, 1974.
- ALBRECHT, A. J. P. *et al.* Comportamento da Soja RR Submetida à Aplicação de Diferentes Formulações e Doses de Glyphosate no Período Reprodutivo. **Planta Daninha** 32(4): p. 851–859, 2014.
- ALMEIDA, F. S.; RODRIGUES, N. B. **Plantio direto**. In — — — — —. Guia de herbicidas contribuição para o uso adequado em plantio direto e convencional. Londrina Iapar, p. 341-399, 1985.
- ALONSO, D. G. *et al.* Sorption-desorption of indaziflam in selected agricultural soils. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 59 (4), p. 3096-3101, 2011.
- ANTUNIASSI, U. R.; BAIO, F. H. R. Tecnologia de aplicação de defensivos. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. Manual de manejo e controle de plantas daninhas. Passo Fundo, Embrapa Trigo, p. 174-175, 2008.
- ANTUNIASSI, U. R. Conceitos básicos da tecnologia de aplicação de defensivos para a cultura da soja. **Boletim de Pesquisa de Soja Fundação Mato Grosso**, Rondonópolis, v. 13, p. 299-317, 2009.
- ARÉVALO, R.A. Matoecologia da cana-de-açúcar. São Paulo, SP: Ciba-Geigy, 1979, 16 p.
- ARAÚJO, D.; RAETANO, C. G. Adjuvantes de produtos fitossanitários. In: Tecnologia de aplicação para grandes culturas, Passo fundo: Aldeia Norte, p. 27-49, 2011.
- ARVIDSSON T, BERGSTROM L, KREUGER J. Spray drift as influenced by meteorological and technical factors. **Pest Management Science**, Chichester 67, p. 586-598, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13875: Agrotóxico - Avaliação de compatibilidade físico-química. Rio de Janeiro, 2014.
- AUDE, M. I. S. *et al.* Manejo do palhicho da cana-de-açúcar: efeito na produção de colmos industrializáveis e outras características agronômicas. **Ciência Rural**, v.23, p. 281-286, 1993.

AZANIA, A. A. P. M. *et al.* Interferência da palha de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) na emergência de espécies de plantas daninhas da família *Convolvulaceae*. **Planta Daninha**, v. 20, n. 2, p. 207-212, 2002.

AZANIA, A. A. P. M. *et al.* Métodos de superação de dormência em sementes de Ipomoea e Merremia. **Planta daninha**, v. 21, n. 2, 2003.

AZEVEDO, F. R.; FREIRE F. C. O. Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas - Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2006, 47 p.

AZEVEDO, L. A. S. Misturas de tanque de produtos fitossanitários: Teoria e prática. Rio de Janeiro: IMOS Gráfica e Editora, 2015, 230 p.

Baesso, M. M. *et al.* Tecnologia de aplicação de agrotóxicos. **Revista Ceres** 61, p. 780-785. 2014.

BANKS, P. A.; ROBINSON, E. L. The influence of straw mulch on the soil reception and persistence of metribuzin. **Weed Science**, v. 30, n. 2, p. 164-168, 1982.

BARROS, D. M. *et al.* Regime hídrico e palha influenciam na eficácia de herbicidas pré-emergentes no controle de Capim-amargoso? Controle de capim amargoso através de herbicidas pré-emergentes. **Nativa**, v. 9, n. 2, p. 194-201, 2021.

BAUER, F. C.; RAETANO, C. G. Distribuição volumétrica de calda produzidas pelas pontas pulverização XR, TP e TJ sob diferentes condições operacionais. **Planta Daninha** 22(2), p. 275–284, 2004.

BELAPART, D. **Efeitos da palha de cana-de-açúcar na emergência de plantas daninhas**. 2020. Tese de doutorado (Agricultura), Universidade Estadual Paulista, Botucatu-SP. 2020.

BELAPART, D. **Efeito da palha de cana-de-açúcar no regime térmico do solo e no controle de plantas daninhas**. 2016. Dissertação de mestrado (Agricultura). Universidade Estadual Paulista, Botucatu-SP, 2016.

BEYAERT, R. P.; SCHOTT, J. W.; WHITE, P. H. Tillage effect on corn (*Zea mays* L.) production in a coarse-textured soil in southern Ontario. **Agronomy Journal**, v. 94, p. 767-774, 2002.

BLANCO, H. G. A importância dos estudos ecológicos nos programas de controle de plantas daninhas. **Biológico**, v. 38, n. 10, p. 343-350, 1972.

BRIGHENTI, A. M.; OLIVEIRA, M. F. Biologia de plantas daninhas. In: OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. Biologia e manejo de plantas daninhas. Curitiba, Omnipax, p. 1- 36, 2011.

BROSNAN, J. T. *et al.* PRE and POST Control of Annual Bluegrass (*Poa annua*) with Indaziflam. **Weed Technology**. 26 (1), p. 48– 53, 2012.

BROSNAN, J. T.; MCCULLOUGH, P. E.; BREEDEN, G. K.; Smooth Crabgrass Control with Indaziflam at Various Spring Timings. **Weed Technology**. 25 (3), p. 363–366, 2011.

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

BUTLER ELLIS, M. C.; TUCK, C. R.; MILLER, P. C. H. The effect of some adjuvants on sprays produced by agricultural flat fan nozzles. *Crop Protection*, Guildford, v. 16, n. 1, 1997.

BYRT, C. S.; GROF, C. P. L.; FURBANK, R. T. C4 Plants as biofuel feedstocks: optimising biomass production and feedstock quality from a lignocellulosic perspective. **Journal of Integrative Plant Biology**. v.53, p. 120–135, 2011.

CARBONARI, C. A. *et al.* Efeito de surfactantes e pontas de pulverização na deposição de calda de pulverização em plantas de grama-seda. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 725-729, 2005.

CARBONARI, C. A. *et al.* Eficácia do herbicida diclosuram em associação com a palha de sorgo no controle de *Ipomoea grandifolia* e *Sida rhombifolia*. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 657–664, 2008.

CARBONARI, C.A. *et al.* Dynamics of sulfentrazone applied to sugarcane crop residues. **Weed Science**, vol. 64, n. 1, p. 201-206, 2016.

CARBONARI, C A. *et al.* Aplicação aérea de grânulos de argila como veículo de herbicidas para o controle de plantas daninhas em área de reforma de eucalipto. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 3, p. 257-265, 2011.

CARMONA, R. Problemática e manejo de bancos de sementes de invasoras em solos agrícolas. **Planta Daninha**, v. 10, n. 1, p. 5-16, 1992.

CARMONA, R.; MURDOCH, A. J. Interactions of temperature and dormancy relieving compounds on the germination of weed seeds. **Seed Science Research**, v.5, p. 227-236, 1995.

CARNEIRO, G. D. O. P. *et al.* Eficácia de herbicidas no controle pós-emergência de corda-de-viola. **Revista Brasileira de Herbicidas**. 19 (2), p. 1-6, 2020.

CARVALHO, F. K. *et al.* Characteristics and challenges of pesticide spray applications in Mato Grosso, Brazil. **Outlooks on Pest Management** (February): 1–4. doi:10.1564/v28, 2017.

CARVALHO, S. J. P. *et al.* Eficácia e pH de caldas de glifosato após a adição de fertilizantes nitrogenados e utilização de pulverizador pressurizado por CO₂. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 44, n. 6, p. 569-575, 2009.

CARVALHO, S. J. P. *et al.* Influência de diferentes períodos de seca sobre a eficácia do herbicida imazapic. *STAB - Açúcar Álcool e Subprodutos*, v. 24, n. 4, p. 41-43, 2006.

CARVALHO, W. T. V. *et al.* Pastagens degradadas e técnicas de recuperação: Revisão. **Pubvet**, v. 11, p. 947-1073, 2017.

CAVENAGHI, A. L. *et al.* Dinâmica do herbicida amicarbazone (Dinamic) aplicado sobre palha de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). **Planta Daninha**, v. 25, n. 4, p. 831-837, 2007.

CORREIA, N. M.; CAMILO, E. H.; SANTOS, E. A. Sulfentrazone efficiency on *Ipomoea hederifolia* and *Ipomoea quamoclit* as influenced by rain and sugarcane straw. **Planta Daninha**, v. 31, n. 1, p. 165-174, 2013.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Variáveis de qualidade das águas. Disponível em: . Acesso em: 15 de jul. de 2022.

CHAIM, A.; WADT, L. G. R. **Pulverização eletrostática: a revolução na aplicação de agrotóxicos – Portal Embrapa**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 4 p. (Embrapa-Meio Ambiente. Documentos 108), 2015.

CHAPMAN, G. W.; ALLAN, T. G. **Técnicas de estabelecimento de plantaciones forestales**. Roma: FAO, Organizacion Das Naciones Unidas Para La Agricultura y La Alimentación, 1989, 206 p

CHOW; PAUL, N. P. Adjuvants and Agrochemicals, v. 1: Mode Of Action and Physiological Activity. CRC Press, 2018.

CHRISTOFOLETTI, J. C. **Plantio direto e a tecnologia de aplicação de herbicidas**. São Paulo: Teejet South America, 1999, 7 p.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F. Dinâmica dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar. São Paulo: autores, 2005, 49 p.

CONCEIÇÃO, M. Z.; SANTIAGO, T. Segurança no manuseio e na aplicação de produtos fitossanitários. In: ZAMBOLIM, L. **Produção integrada de fruteiras tropicais**. Viosa: UFV, p. 313-330, 2003.

CONTIERO, R. L. Adjuvantes para caldas de produtos fitossanitários: classes, propriedades e usos. In: COOPAVEL/COODETEC/BAYER CROPSCIENCE. Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas, III. Cascavel: Coopavel/Coodetec/Bayer Cropscience, p. 29–54, 2005.

COPELAND, L. O.; MCDONALD, M. B. Principles of seed science and technology. 4.ed. Boston, MA: **Kluwer Academic Publishers**, 2001, 467 p.

CORREIA, N. M.; DURIGAN, J. C. Emergência de plantas daninhas em solo coberto com palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 22, n. 1, p. 11-17, 2004.

COSTA, A. G. F. **Determinação da deriva da mistura 2,4-D e glyphosate com diferentes pontas de pulverização e adjuvantes**. Tese de Doutorado, UNESP – Campus Botucatu. 2006.

COSTA, E. A. D. **Efeitos de surfatantes sobre a tensão superficial de soluções de Rodeo**. Botucatu, 1997. 72 p. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 1997.

COSTA, L. L. Recovery of metallic markers sprayed on soybean plants. **Australian Journal of Crop Science** 9(9), p. 807–811, 2015.

COSTA, M. V. *et al.* UltraBrix: A Device for Measuring the Soluble Solids Content in Sugarcane. **Sustainability**, v. 13, n. 3, 2021, 1227 p.

COSTA, N. V. *et al.* pH foliar e deposição de gotas de pulverização em plantas daninhas aquáticas: *Brachiaria mutica*, *Brachiaria subquadrifida* e *Panicum repens*. **Planta Daninha**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 2, p. 295-304, 2005.

CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. A.; 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.

CUNHA, J. P. A. R.; ALVES G. S. 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.; BUENO, M. R.; FERREIRA, M. C. Espectro de gotas de pontas de pulverização com adjuvantes de uso agrícola. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 28, p. 1153-1158, 2010.

CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C. Avaliação do espectro de gotas de pontas de pulverização hidráulica utilizando a técnica da difração do raio laser. **Eng. Agríc.**, v. 27, p. 10-15, 2007.

DA SILVA, P. V. **Comportamento ambiental e bioatividade sobre plantas daninhas de herbicidas residuais aplicados sobre a palha de cana-de-açúcar em diferentes condições hídricas do solo**. 2018. Tese de Doutorado (Fitotecnia). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2018.

DAN, H. A. *et al.* Efeito do pH da calda de pulverização na dessecação de braquiária brizanta com o herbicida glyphosate. *Global Science Technology*, v. 2, n. 1, p. 01-06, 2009.

DAYAN, F. E. *et al.* Soybean (*Glycine max*) cultivar differences in response to sulfentrazone. **Weed Science**, v. 45, p. 634-641, 1997.

DE MATOS, A. K. A. **Uniformidade na deposição e dinâmica de formulações de diuron e sulfentrazone em solo, palha e plantas de cana-de-açúcar**. Botucatu, 2018. 99 p. Tese (Doutorado) Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, 2018.

DEUBER, R. Botânica das plantas daninhas. In: DEUBER, R. Ciências das plantas daninhas. Jaboticabal: FUNEP, cap. 3, p. 31–73, 1992.

DUPRÉ, A. M; DUPRÉ, P. **Théorie mécanique de la chaleur**. Paris: Gauthier-Villars, 1869.

DUKE, S. O. *et al.* Protoporphyrinogen oxidase-inhibiting herbicides. **Weed Science**, v. 39, p. 465-473, 1991.

DURIGAN, J. C. Efeito de adjuvantes na aplicação e eficácia de herbicidas. Jaboticabal: FUNEP, 1993, 42 p.

DURINGA, J. C.; CORREIA, N. M. Efeito de adjuvantes na aplicação e eficácia de herbicidas. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. Manual de manejo e controle de plantas daninhas. Passo Fundo: Embrapa trigo, p. 134-171, 2008.

DURIGAN, J. C. Integração de métodos mecânico e químico para o controle de tiririca (*Cyperus rotundus* L.). **Científica**, v. 28, n. 1/2, p. 87-101, 2000.

EGLEY, G. H.; DUKE, S. Physiology of weed seed dormancy and germination. In: DUKE, S. O. Weed Physiology. I. Reproduction and Ecophysiology. Florida: CRC Press, p. 27-64, 1985.

FAY, P. K.; DUKE, W. B. An assesement of allelopathic potencial in Avena germoplasm. **Weed Science**, v. 25, p. 224-228, 1977.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - CENTRO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Ampliação da oferta de energia através da biomassa**. 2001. Disponível em <www.fiesp.com.br>. Acesso em 02 jun. 2022.

FENER, M. Germination tests of thirty-two East African weed species. *Weed Res.*, v. 20, p. 135-138, 1980.

FERGUSON, J. C. Determining the uniformity and consistency of droplet size across spray drift reducing nozzles in a wind tunnel. *Crop Protection* 76, p. 1–6, 2015.

FERREIRA, D.F. Programa computacional Sisvar - UFLA, versão 5.8, 2018.

FERREIRA, M. C. *et al.* Fatores qualitativos para a ponta hidráulica de jato plano ADGA 110015 na pulverização agrícola. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, 2007.

FERREIRA, M. C. *et al.* Quality of inseticide application on peanut (*Arachis hypogaea* L.) with and without adjuvants in the spraying liquid, under simulated rain. **Bioscience Journal** 29(5), p. 1431–1440, 2013.

FERREIRA, E. A. *et al.* Sensibilidade de cultivares de cana-de-açúcar à mistura trifloxysulfuron-sodium + ametryn. **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p. 93-99, 2011.

FERREIRA, M. C. *et al.* Distribuição volumétrica e diâmetro de gotas de pontas de pulverização de energia hidráulica para controle de corda-de-viola. **Planta Daninha**, v. 29, p. 697-705, 2011.

FERREIRA, M. C. **Padrão do jato aspergido, arraste e distribuição de gotas em função da adição de adjuvantes à calda e à pressão de trabalho com diferentes**

pontas de pulverização de energia hidráulica. 2010. 73 f. Tese (Livre Docência em Tratamento Fitossanitário) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2010.

FERNÁNDEZ, O. A. Manejo integrado de malezas. **Planta Daninha**, v. 5, n. 2, p. 69-75, 1982.

FERNÁNDEZ-QUINTANILLA, C. *et al.* Ecologia de las malas hierbas. In: GARCIA TORRES, L.; FERNÁNDEZ QUINTANILLA, C. Fundamentos sobre malas hierbas y herbicidas. Madrid: Mundi-Prensa, p. 49-69, 1991.

FONTES, J. R. A. *et al.* Manejo Integrado de Plantas Daninhas. Planaltina-DF. Embrapa Cerrados, 2003, 48 p.

FORNAROLLI, D. A. *et al.* Influência da cobertura morta no comportamento do herbicida atrazine. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 21, 1997, Caxambu: SBCPD, 1997, 343 p.

FORNEY, S. H. *et al.* Laboratory and full boom-based investigation of nozzle setup error effects on flow, pressure, and spray pattern distribution. **Applied Engineering in Agriculture** 33(5): 641–653. doi:10.13031/aea.12043, 2017.

FOY, CHESTER, L. Adjuvants for agrichemicals: 0. Crc press, 2018.

GALON, L. *et al.* Influência de herbicidas na qualidade da matéria-prima de genótipos de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 27, n. 3, p. 555-562, 2011.

GASKIN, R. E.; KIRKWOOD, R. C. The effect of certain nonionic surfactants on the uptake and translocation of herbicides in bracken (*Pteridium aquilinum* [L.] Kuhn). *Adjuvants and Agrochemicals*: v. 1, 2018.

GASKIN, R. E.; STEVENS, P. J. G. Antagonismo of the foliar uptake og glyphosate into grasses by organosilicone surfactants. *Pesticide Science*, v.38, p. 203-206, 1993.

GASSEN, D. N.; GASSEN, F. R. **Plantio direto o caminho do futuro.** Passo Fundo: Aldeia Sul, 1996, 207 p.

GAZZIEIRO, D. L. *et al.* Manual de identificação de plantas daninhas na cultura da soja. 2. Ed. Londrina, PR, 2015, 126 p.

GERDES, L.; WERNER, J. C.; COLOZZA, M. T. Avaliação de características agronômicas e morfológicas das gramíneas forrageiras Marandu, Setária e Tanzânia aos 35 dias de crescimento nas estações do ano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 4, p. 947- 954, 2000.

GIL, Y.; SINFORT, C. Emission of pesticides to the air during sprayer application: A bibliographic review. **Atmospheric Environment** 39, p. 5183–5193, 2005.

GIMENES, R. DINAMIC: O novo herbicida da Hokko do Brasil para cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v.22, n. 4, p. 23-24, 2004.

GOMES, F. G. J.; CHRISTOFFOLET, P. J. Biologia e manejo de plantas daninhas em áreas de plantio direto. **Planta Daninha** 26(4), p. 789-798. 2008.

GRAVENA, R. *et al.* Controle de plantas daninhas através da palha de cana-de-açúcar associada à mistura dos herbicidas trifloxysulfuron sodium + ametrina. **Planta Daninha**, v. 22, n. 3, p. 419-427, 2004.

GREEN, J. M.; HAZEN, J. L. Understanding and using adjuvants properties to enhance pesticide activity. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADJUVANTES FOR AGROCHEMISTS, 5, Tennessee. **Proceedings...** Memphis: ISAA, p. 25-36, 1998.

GREENE, D. W.; BUKOVAC, M. Stomatal penetration: effect of surfactants and role in foliar absorption. **American Journal of Botany**, Columbus, v. 61, n.1, p.100-106, 1974.

GREY, T. L. *et al.* Sulfentrazone adsorption and mobility as affected by soil and pH. **Weed Science**, v. 45, p. 733 –738, 1997.

GUERRA, N. Influence of precipitation and sugarcane straw in aminocyclopyrachlor and indazifam control efficiency. **Planta Daninha**, v. 33, n. 3, p. 535-542, 2015.

GUERRA, N. Aminocyclopyrachlor e indaziflam: Seletividade, controle e comportamento no ambiente. **Revista Brasileira de Herbicidas**, 12 (3), p. 285-295, 2013.

HARRISON, S. K., MAX, L. M.; BODE, L. E. Influence of adjuvants and application variable on postemergence weed control with bentazon and sethoxydim. **Weed Science**, v. 34, p. 462-66, 1986.

HEIDARY, M. A. Influence of spray characteristics on potential spray drift of field crop sprayers: A literature review. **Crop Protection** 63, p. 120–130, 2014.

HERNANDEZ, D. D.; ALVES, P. L. C. A.; MARTINS, J. V. F. Influência do resíduo de colheita de cana-de-açúcar sem queima sobre a eficiência dos herbicidas imazapic e imazapic + pendimethalin. **Planta Daninha**, v. 19, n. 3, p. 419-426, 2001.

HILZ, E.; VERMEER, A. W.P. Spray drift review: The extent to which a formulation can contribute to spray drift reduction. **Crop Protection** 44, p. 75–83, 2013.

HOLLOWAY, P. J. Physicochemical factors influencing the adjuvants - Enhance spray deposition and coverage of foliage-applied agrochemicals. In: HOLLOWAY, P. J.; REES, R. T.; STOCK, D. (Ed.). **Interactions between adjuvants, agrochemicals and target organisms**. Berlim: Springer-Verlag, p. 83-106, 1994.

HOLT, J. S.; ORCUTT, D. R. Functional relationships of growth and competitiveness in perennial weeds and cotton (*Gossypium hirsutum*). **Weed Science**, v. 39, p. 575-584, 1996.

HULTING, A. G. *et al.* Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cultivars tolerance to sulfentrazone. **Crop Protection**, v. 20, p. 679-683, 2001.

IOST, C. A. R. **Efeito de adjuvantes nas propriedades físicoquímicas da água e na redução de deriva em pulverizações sobre diferentes espécies de plantas daninhas.** Botucatu: Universidade Estadual Paulista, 2008. 63p. Dissertação Mestrado, 2008.

IOST, C. A. R.; RAETANO, C. G.; Tensão superficial dinâmica e ângulo de contato de soluções aquosas com surfatantes em superfícies artificiais e naturais. *Eng. Agríc.*, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 670-680, 2010.

KAAPRO, J.; HALL, J. Indaziflam - a new herbicide for pre-emergent control of weeds in turf, forestry, industrial vegetation and ornamentals. **Weed Sci. Res.**, Special Issue, v. 18, p. 267-270, 2012.

KARAM, D., MELHORANÇA, A. L.; OLIVEIRA, M. F. Plantas Daninhas na Cultura do Milho. Embrapa Milho e Sorgo: Circular Técnica, n. 79, 2006.

KISSMANN, K. G. Adjuvantes para caldas de produtos agrotóxicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 21., 1997, Caxambu. Palestras e mesas redondas... Viçosa: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, p. 61-77, 1997.

KISSMANN, K. G. Adjuvantes para caldas de produtos fitossanitários. IN: GUEDES, J.V.C. E DORNELLES, S. B. (Org). Tecnologia e segurança na aplicação de agrotóxicos: Novas tecnologias. Santa Maria. Departamento de defesa fitossanitária; Sociedade de Agronomia de Santa Maria, p. 39-51, 1998.

KISSMANN, K. G. **Plantas infestantes e nocivas.** São Paulo: BASF Brasileira, t. 2, 1991, 608 p.

KIYOMURA, I. S. *et al.* Analysis of the influence of surface roughness and nanoparticle concentration on the contact angle. *In*: ABCM INTERNATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING, 23., 2015, Rio de Janeiro. Anais [...] Rio de Janeiro: ABCM, p. 1-8, 2015.

KNOCH, M.; BUKOVAC, M. J. Interaction of surfactant and leaf surface in glyphosate absorption. **Weed Science**, v. 41, p. 87-93, 1993.

KUVA, M. A. **Efeito de período de controle e de convivência das plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.) no Estado de São Paulo.** 1999, 74p. Dissertação (Mestrado em Agricultura) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

KUVA, M. A. *et al.* Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar. II – Capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*). **Planta Daninha**, v. 19, n. 3, p. 323-330, 2001.

KUVA, M. A. *et al.* Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar. III – Capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*) e Capim-colonião (*Panicum maximum*). **Planta Daninha**, v. 21, n. 1, p. 37-44, 2003.

KUVA, M. A. *et al.* Fitossociologia de comunidades de plantas daninhas em agroecossistema cana-crua. **Planta Daninha**, v. 25, n. 3, p. 501-511, 2007.

LANÇAS, F. M. **Validação de métodos cromatográficos de análise**. 1ª ed. São Carlos: RiMa, 2004, 46 p.

LIN, S. P.; REITZ, R. D. Drop and spray formation from a liquid jet. **Annual Review of Fluid Mechanics**. 30(1): 85–105. doi:10.1146/annurev.fluid.30.1.85, 1998.

LO, C. C.; HOPKINSON, M. Influence of adjuvants on droplet spreading. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADJUVANTS FOR AGROCHEMICALS, 14., 1995, Melbourne. *Proceedings...* Rotorua: New Zealand Forest Research Institute, p.144-149. (FRI Bulletin, 193), 1995.

LOCKE, M. A.; BRYSON, C. T. Herbicide-soil interaction in reduced tillage and plant residue management systems. **Weed Science**, v. 45, p. 307-320, 1997.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil**. 2 ed. Nova Odessa: Plantarum, 1991, 440 p.

LORENZI, H. Plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar: plantas daninhas na lavoura do nordeste brasileiro. In: IV ENCONTRO TÉCNICO GOAL CANA-DEAÇÚCAR, Anais... Recife: COPERSUCAR, p. 50-58, 1995.

LORENZI, H. *et al.* Manual de identificação e controle de plantas daninhas. (7a ed.), Plantarum, 2014.

MACEDO, J. F.; BRANDÃO, M.; LARA, J. F. R. Plantas daninhas na pós-colheita de milho nas várzeas do rio São Francisco, em Minas Gerais. **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 239-248, 2003.

MANECHINI, C. Manejo da cana crua. In: SEMINÁRIO COPERSUCAR DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 7, Piracicaba, p. 309- 327, 1997.

MARTINS, D. *et al.* Emergência em campo de dicotiledôneas infestantes em solo coberto com palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v.17, n. 1, p. 151-161, 1999.

MARTINS, D. Ação de adjuvantes na absorção e translocação de glyphosate em plantas de aguapé (*Eichhornia crassipes*). **Planta Daninha**, Rio de Janeiro, v.27, n. 1, p. 155-163, 2009.

MATTHEWS, G. A.; MILLER, P.; BATEMAN, R. **Pesticide application methods**. (4o ed). Wiley-Blackwell, 2014.

MATOS, A. K. A.; CARBONARI, C. A.; COTRICK, G. L. G. Dynamics of preemergent herbicides in production systems with straw. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 15, n. 1, p. 97-106, 2016.

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

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

MAYER, A. C.; POLJAKOFF MAYBER, A. **The germination of seeds**. 4.ed. Oxford: Pergamon Press, 1989, 270 p.

MEDEIROS, D.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Efeito da intensidade de chuva e da quantidade de palha de cana-de-açúcar sobre a eficácia de herbicidas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 23., 2002, Gramado. Resumos... Gramado: SBCPD, 2002, 510 p.

MEDINA MELENDEZ, J. A. **Efeito da cobertura do solo no controle de plantas daninhas na cultura do pepino (*Cucumis sativus* L.)**. 1990. 104 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1990.

MELO, A. A. Impact of tank-mix adjuvants on deposit formation, cuticular penetration and rain-induced removal of chlorantraniliprole. *Crop Prot.* 78, p. 253-262, 2015.

MENDONÇA, C. G. **Algumas características da superfície foliar de diversas plantas daninhas monocotiledôneas**. 2000. 89 f. Dissertação (Mestrado em produção vegetal) – Unesp, Botucatu, 2000.

MENDONÇA, C. G.; RAETANO, C. G.; Tensão superficial estática de soluções aquosas com óleos minerais e vegetais utilizados na agricultura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, p. 16-23, 2007.

MENDONÇA, C. G. Efeitos de surfatantes sobre a tensão superficial e a área de molhamento de soluções de glyphosate sobre folhas de tiririca. **Planta Daninha**, Viçosa - MG, v. 13, n. 3, p. 355-365, 1999.

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

MINGUELA, J. V.; CUNHA, J. P. A. R. Manual de Aplicação de Produtos Fitossanitários. 1ª Ed. Viçosa: Aprenda Fácil Editora, 2010, 588 p.

MONQUERO, P. A. Efeito de adubos verdes na supressão de espécies de plantas daninhas. **Planta Daninha**, 27, p. 85-95. 2009.

MOITA NETO, J. M. Molhamento e ângulo de contato. março de 2006. Teresina: Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Piauí. Disponível em: <<http://www.fapepi.pi.gov.br/ciencia/documentos/Molhamento.PDF>>. Acesso em: 22 out. 2022.

MONTÓRIO, G. A. **Eficiência dos surfactantes de uso agrícola na redução da tensão superficial**. 2001. 72 f. Tese (Doutorado em Agricultura) – Unesp, Botucatu, 2001.

MONTÓRIO, G. A. Eficiência dos surfactantes de uso agrícola na redução da tensão superficial. **Revista Brasileira de Herbicidas**. Umuarama, v. 4, n. 2, p. 8-22, 2005.
MOTA, A. A. B. **Quantificação do ar incluído e espectro de gotas de pontas de pulverização em aplicações com adjuvantes**. 74 f. Dissertação Mestrado, UNESP – Campus Botucatu. 2011.

MUNDT, T. T. **Dinâmica e eficácia do herbicida dicamba quando aplicado no sistema solo e palha**. 2021. 88f. Dissertação de mestrado (Agricultura). UNESP. Botucatu – SP, 2021.

MURDOCH, A. J.; CARMONA, R. The implications of the annual dormancy cycle of buried weed seeds for novel methods of weed control. In: BRIGHTON CROP PROTECTION CONFERENCE - WEEDS, 1993, Brighton. **Proceedings...** Brighton : British Crop Protection Association, p. 329-334, 1993.

NALEWAJA, J. D., MATYSIAK, R., SKCIEZNIAK, L. Sethoxydim response to spray carries chemical properties and environment. **Weed Technology**, v. 8, p. 591-97, 1994.

NEGRISOLI, E. *et al.* Dinâmica de diuron em palha de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 23. 2002, Gramado. Anais... Londrina: SBCPD, p.157, 2002.

NEGRISOLI, E. *et al.* Controle de plantas daninhas pelo amicarbazone aplicado na presença de palha de cana de açúcar. **Planta Daninha**, v. 25, p. 603-611, 2007.

NEGRISOLI, E. Eficácia do sulfentrazone em diferentes doses associado à palha de cana-de-açúcar com ou sem chuva após a aplicação no controle de plantas daninhas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 24., 2004, São Pedro. Anais... São Pedro: SBCPD, 2004, 151 p.

NOVO, M. C. S. S. *et al.* Efeito da palha de cana-de-açúcar e do tamanho dos tubérculos na biomassa das estruturas subterrâneas de *Cyperus rotundus*. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 23, n. 3, p. 437- 448, 2005.

NUYTENS, D. Spray drift as affected by meteorological conditions. **Communications in agricultural and applied biological sciences** 70(4), p. 947–959, 2005.

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

OLIVEIRA, A. R.; FREITAS, S. P. Levantamento fitossociológico de plantas daninhas em áreas de produção de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 26, n. 1, p. 33-46, 2008.

OLIVEIRA, A. R.; FREITAS S. P. Palha de cana-de-açúcar associada ao herbicida trifloxysulfuron sodium + ametryn no controle de *Rottboellia exaltata*. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 1, p. 187-194, 2009.

OLIVEIRA, M. F.; BRIGHENTI, A. M. Comportamento dos herbicidas no ambiente. In: OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Editora Curitiba: Omnipax, v. 1, p. 263-304, 2011.

OLIVEIRA, M. F. Comportamento de herbicidas no ambiente. In: Plantas daninhas e seu manejo. OLIVEIRA, R. S.; CONSTANTIN, J. Guaíba: Agropecuária, p. 316-355, 2001.

OLIVEIRA, M. R. *et al.* Efeito da palha e da mistura atrazine e metolachlor no controle de plantas daninhas na cultura do milho, em sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 37-41, 2001.

OLIVEIRA, P. T. **Análise da qualidade das águas de poços rasos no assentamento Itamarati**. 2018, 83 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2018.

OLIVEIRA, R. B. **Caracterização funcional de adjuvantes em soluções aquosas**. 2011. 122 f. Tese (Doutorado em Energia Na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

OLIVEIRA, R. B. *et al.* Formulações e misturas de herbicidas em tanque. In: BARROSO, A. A. M.; MURATA, A. T. Matologia: estudos sobre plantas daninhas. Jaboticabal: Fábrica da Palavra, p. 205-252, 2021.

ORZARI, L. *et al.* Germinação de espécies da família Convolvulaceae sob diferentes condições de luz, temperatura e profundidade de semeadura. **Planta Daninha**, Viçosa- MG, v. 31, n. 1, p. 53-61, 2013.

OZEKI, Y. **Manual de aplicação aérea**. São Paulo: Y. OZEKI, 2006, 101 p.

PASSINI, T.; KRANZ, W. M. Eficácia de herbicidas no controle de amarelinho (*Tecoma stans*) em pastagem. **Planta Daninha**, v. 15, n. 2, p. 190-197, 1997.

PERRY, D. H. Indaziflam Utilization for Controlling Problematic Turfgrass Weeds. Online. Applied Turfgrass Science. 8 (1), 2011.

PETTER, F. A. *et al.* Incompatibilidade física de misturas entre inseticidas e fungicidas. *Comunicata Scientiae*, v. 4, p. 129-138, 2013.

PETROBRÁS. OPPA; OPPA-BR-CE. Conheça os mais eficazes óleos minerais que a Petrobrás desenvolveu para uso na agricultura. Disponível em: . Acesso em: 04 dez. 2022.

PITELLI, R. A. **Interferência de plantas daninhas em culturas agrícolas**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 11, n. 23, p. 16-27, 1985.

PITELLI, R. A. Competição e controle das plantas daninhas em áreas agrícolas. **Série técnica IPEF**, v. 4, n. 12, p. 1-24, 1987.

PITELLI, R. A. O termo planta-daninha. **Planta Daninha**, v. 33, n. 3, p. 622-623, 2015.

PRADO, E. P. *et al.* Influência da dureza e potencial hidrogeniônico da calda de pulverização sobre o controle do ácaro-da-leprose em frutos de laranja doce. *Bragantia*, Campinas, v. 70, n. 2, p. 389-396, 2011.

PROCÓPIO, S. O. *et al.* **Manejo de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2003, 150 p.

PUSINO, A. *et al.* Sorption of primisulfuron on soil, and inorganic and organic soil colloids. **European Journal of Soil Science**, v. 55, n. 1, p. 175-182, 2004.

PUSINO, A. Influence of organic matter and its clay complexes on metolachlor adsorption on soil. **Pesticide Science**, v. 31, n. 3, p. 283-286, 1993.

RAMOS, H. H.; PIO, L. C. Tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. In: ZAMBOLIM, L.; CONCEIÇÃO, M. Z.; SANTIAGO, T. O que engenheiros agrônomos devem saber para orientar o uso de produtos fitossanitários. Viçosa: UFV, p.133-202, 2003.

RAMOS, H. H. *et al.* Parâmetros da capacidade de campo operacional associada a pulverizadores terrestres no Brasil. *Biológico*, v. 75, p. 11-29, 2013.

RAKES, M. *et al.* Physicochemical Compatibility of Agrochemical Mixtures in Spray Tanks for Paddy Field Rice Crops. **Planta Daninha**, v. 35, 2018.

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

RHOADES, W. C. The History and Use of Agricultural Chemicals. **The Florida Entomologist** 46(4), p. 275–277, 1963.

RIBANI, M. *et al.* Validação em métodos cromatográficos e eletroforéticos. **Química Nova**, v. 27, p. 771-780, 2004.

RICE, E. L. Allelopathy. New York: Academic Press, 1984, 422 p.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de Herbicidas**, 5.ed. Londrina, 2005, 592 p.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 6. ed. Londrina: IAPAR, 2011, 675 p.

RODRIGUES, B. N. et al. Influência da cobertura morta no comportamento do herbicida trifluralin. **Planta Daninha**, v. 16, n. 2, 1998.

RODRIGUES, B. N. et al. Retenção pela palhada, de herbicidas aplicados em pré emergência na cultura da soja, em plantio direto. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 1, n. 1, 2000.

ROSSI, C. V. S. et al. Efeito da presença de palha de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) (cana crua) sobre a germinação de plantas daninhas em época seca. In: 76 CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 25, 2006, Brasília. Anais... Brasília: SBCPD, 2006, 326 p.

ROSSI, C. V. S. et al. Dinâmica do herbicida metribuzin aplicado sobre palha de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). **Planta Daninha**, v. 31, n. 1, p. 223-230, 2013.

SANCHOTENE, D. M. et al. Influência de sais e do pH da água na eficiência de imazethapyr + imazapic no controle de arroz-vermelho. **Planta Daninha**, [S.L.] v. 25, n.2, p. 415-419, 2007.

SANTANA, A. L. Cana-de-açúcar. 2010. Disponível em: <http://www.infoescola.com/plantas/cana-de-acucar>. Acesso em: 12 nov. 2022.

SANTOS, I. T. **Método para estudar a dinâmica de herbicidas em palha**. 2019. 71f. Dissertação de Mestrado em Agronomia (Agricultura) Universidade Estadual Paulista. Botucatu-SP, 2019.

SANTOS, J. M. F. **Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas**. São Paulo :Instituto Biológico, 2002, 62 p.

SANTOS, R. B. **Interface Água e Saúde: Correlação com Atividades Agroindustriais 15 Desenvolvidas em um Perímetro Irrigado no Semiárido Paraibano**. 2013. Dissertação 16 (Mestrado em Sistemas Agroindustriais). Universidade Federal de Campina Grande, Pombal – PB, 2013.

Sasaki, R. S. et al. Adjuvantes nas propriedades físicas da calda, espectro e eficiência de eletrificação das gotas utilizando a pulverização eletrostática. **Ciência Rural** 45(2), p. 274–279, 2015.

SILVA, A. A.; SILVA, J. F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: Editora UFV, 2013, 367 p.

SILVA, et al. Aplicação de herbicidas em pré-emergência sobre palha de cana-de-açúcar para o controle de espécie da família Convolvulaceae. *Revista Agro@ambiente On-line*. 9 (2), p. 184-193, 2015.

Silva, J. F.; Ferreira, L. R.; Ferreira, F. A. Herbicidas: absorção, translocação, metabolismo, formulação e misturas. In: SILVA, A.A.; SILVA, J.F. (Eds.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. p. 118-154, 2007.

SILVA, F. M. L.; VELINI, E. D.; CORRÊA, T. M. Influência dos íons Mg, Ca, Fe, Cu e Zn sobre a tensão superficial estática de soluções contendo surfatante. **Planta Daninha**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 3, p. 589-595, 2006.

SIMONI, F. *et al.* Eficácia de imazapic e sulfentrazone sobre *Cyperus rotundus* em diferentes condições de chuva e palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 769-778, 2006.

SINGH, D; SINGH, M. Absorption and translocation of glyphosate with conventional and organosilicone adjuvants. **Weed Biology and Management**, v. 8, n. 2, p. 104-111, 2008.

SINGH, M.; MACK, R. E. Effect of organosilicone-based adjuvants on herbicide efficacy. **Pest Management Science**, v. 38, n. 2-3, p. 219-225, 1993.

SEVERINO, F. J.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Efeitos de quantidades de fitomassa de adubos verdes na supressão de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 19, p. 223-228, 2001.

SIGUA, G. C.; ISENSEE, A. R.; SADEGHI, A. M. Influence of rainfall intensity and crop residue on leaching of atrazine through intact no-till soil cores. **Soil Science**, Baltimore, v. 156, n. 4, p. 225–232, 1993.

SILVA, G. S. da. **Seletividade em mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar e lixiviação do diuron, hexazinone e aminocyclopyrachlor isolados e associados**. 2018. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Piracicaba-SP, 2018.

SOARES, A. S. **Controle de plantas daninhas em pré e pós-emergência com diferentes volumes de aplicação e concentração de calda, na cultura da cana-de-açúcar**. Jaboticabal, 2018. 50 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. 2018.

SOARES, M. B. B. *et al.* Fitossociologia de plantas daninhas sob diferentes sistemas de manejo de solo em áreas de reforma de cana crua. **Agroambiente**, v. 5, n. 3, p. 173-181, 2011.

SOUZA, G. S. F. **Intensidades luminosas e profundidade de semeadura na emergência e desenvolvimento de espécies de plantas daninhas**, 2014, 130f. Tese (Doutorado em Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

SOUZA, R. O.; VELLOSO, J. A. R. O. Tecnologia de aplicação de herbicidas. In: SOUZA, R. O.; VELLOSO, J. A. R. O. (EDS.). Tecnologia e segurança na aplicação de produtos fitossanitários. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, p. 41-53, 1996.

STICKLER, W. E. The importance of adjuvants to the agricultural chemical industry. In: FOY, C.L. (Ed.). **Adjuvants for Agrochemicals**. New York: Marcell Dekker, cap.22, p. 247-9, 1992.

TAKIM, F. O; OYEKUNLE, G. O; ODEYEMI, J. O. Dinâmica do banco de sementes de plantas daninhas do solo e potencial alelopático de *Tithonia diversifolia* (Hemsl). **Jornal de Pesquisa e Desenvolvimento Agrícola**, v. 16, n. 1, p. 20-30, 2014.

TAYLORSON, R. B.; BORTHWICK, H. A. Light filtration by foliar canopies: significance for light-controlled weed seed germination. **Weed Science**, v. 17, n. 1, p. 48-51, 1969.

TOFOLI, G. R. *et al.* Dinâmica do tebuthiuron em palha de cana-de-açúcar. **Planta daninha**, v.27, n. 4, p. 815-821, 2009.

TEOFILO, T. S. **Expansão da cultura da cana-de-açúcar confrontada com o zoneamento agroambiental utilizando análise supervisionada de imagem**, 2012, 69f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

TOFOLLI, G. R. *et al.* Dinâmica de atrazine em palha de aveia e cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 23., 2002, Gramado. Resumos... Gramado: SBPCD, 2002, 158 p.

TOLEDO, R. E. B. *et al.* Dinamic (Amicarbazone), novo herbicida seletivo para o controle de plantas daninhas em pré e pós emergência na cultura da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 24, São Pedro. Resumos... São Pedro, 2004, 245 p.

TOMPKINS, J. Pesticide fact sheet: indaziflam. United States, Environmental Protection Agency. 2010. Disponível em: . Acesso em nov 2022.

TRIVELIN, P. C. O.; VICTORIA, R. L.; RODRIGUES, J. C. S. Aproveitamento por soqueira de cana-de-açúcar de final de safra do nitrogênio da aquamônia - 15 N e uréia - 15 N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 30, p. 1375-1385, 1995.

TROPALDI, L. Dynamics of Clomazone Formulations Combined with Sulfentrazone in Sugarcane (*Saccharum* spp.) Straw. **Agriculture**, 11, 854, 2021.

UNDERWOOD, A. K. Adjuvnts trends for the new millennium. *Weed Technology*, v. 14, n. 4, p. 765-772, 2000.

UNSWORTH J. History of Pesticide Use. **International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)**, p. 1975-1976, 2010.

VAN OSS, C. J. *et al.* The interfacial tensions with water and the Lewis acid-base surface tension parameters of polar organic liquids derived from their aqueous solubilities. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, p. 87-91, 2001.

VASCONCELOS, A. C. M. **Desenvolvimento do sistema radicular da parte aérea de socas de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita: crua mecanizada e queimada manual**. 2002. 140 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - FCAV, UNESP, Jaboticabal, 2002.

VÁZQUEZ-YANES, C.; OROZCO-SEGOVIA, A. Patterns of seed longevity and germination in the tropical rainforest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 24, n. 1, p. 69-87, 1993.

VELINI, E. D. Comportamento de herbicidas no solo. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE MANEJO DE PLANTAS DANINHAS EM HORTALIÇAS, 1992, Botucatu.

Palestras... Botucatu, p. 44-64, 1992.

VELINI, E. D. *et al.* Dinâmica de Velpar K (hexazinona + diuron) em palha de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 24, 2004, São Pedro. Anais... São Pedro: SBCPD, p. 55, 2004.

VELINI, E. D. *et al.* Efeito da palha da cana-de-açúcar sobre a germinação das principais espécies de plantas daninhas gramíneas desta cultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 22., 2000, Foz do Iguaçu. Resumos... Londrina: SBCPD, p. 15, 2000.

VELINI, E. D.; NEGRISOLI, E. Controle de plantas daninhas em cana crua. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 22., 2000, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: SBCPD, p. 148-164. 2000.

VELINI, E.D. *et al.* Influência da palha na ocorrência de plantas daninhas e na eficiência de herbicidas. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. (Ed.) **Milho: estratégias de manejo para alta produtividade**. Piracicaba: ESALQ/USP/LPV, p. 198-208, 2003.

VICTORIA FILHO, R.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Manejo de plantas daninhas e produtividade da cana. **Visão Agrícola**, n. 1, p. 32-37, 2004.

VIDAL, R. A. *et al.* Association of glyphosate with other agrochemicals: the knowledge synthesis. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 15, n. 1, p. 39-47, 2016.

VOLPE, H. X. L. Distribuição volumétrica de calda contendo *Metarhizium anisopliae*. **Ciência Rural** 42(11), p. 1909–1915, 2012.

WITT, J. M. Agricultural spray adjuvants. Ithaca, NY: Cornell University, 2001.

YOUNG, T. An Essay on the Cohesion of Fluids. **Philosophical Transaction of the Royal Society of London**. London, v. 95, p. 65-87, 1805.

ZHANG, J. *et al.* Allele-defined genome of the autopolyploid sugarcane *Saccharum spontaneum* L. **Nature Genetics**. 2018.