

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL

INTERAÇÃO DA MISTURA DE HERBICIDAS E
FERTILIZANTES FOLIARES NO CONTROLE DE *Urochloa*
decumbens* E *Amaranthus hybridus

Hilario Camarena de la Cruz

Engenheiro Agrônomo

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL

INTERAÇÃO DA MISTURA DE HERBICIDAS E
FERTILIZANTES FOLIARES NO CONTROLE DE *Urochloa*
decumbens* E *Amaranthus hybridus

Hilario Camarena de la Cruz

Orientador: Prof. Dr. Marcelo da Costa Ferreira

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

2023

C957i

Cruz, Hilario Camarena de la

Interação da mistura de herbicidas e fertilizantes foliares no controle de
Urochloa decumbens e Amaranthus hybridus : Jaboticabal / Hilario Camarena
de la Cruz. -- , 2023

62 f. : il., tabs.

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

Orientador: Marcelo da Costa Ferreira

1. Agronomia. 2. Aplicação de produtos químicos agrícolas. 3. Herbicidas. 4.
Misturas. 5. Weed control. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: INTERAÇÃO DA MISTURA DE HERBICIDAS E FERTILIZANTES FOLIARES
NO CONTROLE DE *Urochloa decumbens* E *Amaranthus hybridus*

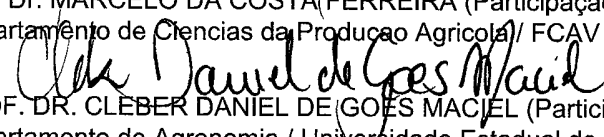
AUTOR: HILARIO CAMARENA DE LA CRUZ

ORIENTADOR: MARCELO DA COSTA FERREIRA

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



Prof. Dr. MARCELO DA COSTA FERREIRA (Participação Presencial)
Departamento de Ciências da Produção Agrícola / FCAV UNESP Jaboticabal



PROF. DR. CLEBER DANIEL DE GOES MACIEL (Participação Presencial)
Departamento de Agronomia / Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO) - Guarapuava/PR



Prof. Dr. LEONARDO BIANCO DE CARVALHO (Participação Presencial)
Departamento de Ciências da Produção Agrícola / FCAV UNESP Jaboticabal

Jaboticabal, 28 de julho de 2023

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Os resultados desta pesquisa fornecem conhecimentos valiosos da mistura de herbicidas com fertilizantes foliares para otimizar o controle de plantas daninhas ao mesmo tempo em que se supre nutrientes essenciais, fazendo o uso correto dos produtos fitossanitários. Essa técnica não apenas apresenta benefícios econômicos, também se alinha com princípios de desenvolvimento sustentável.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

The results of this research provide valuable insights into mixing herbicides with foliar fertilizers to optimize weed control while supplying essential nutrients and making correct use of phytosanitary products. This technique not only has economic benefits, but is also in line with sustainable development principles.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Hilario Camarena de la Cruz, Nasceu em 02 de março de 1991 em Pariahuanca, região Junín – Peru. Possui graduação em Agronomia pela Universidade Nacional do Centro do Peru (UNCP). Em 2016 e 2018 foi representante estudantil ante o Conselho de Faculdade de Agronomia e Conselho Universitário da UNCP, respectivamente. De 2017 a 2019 Foi bolsista do Programa Nacional de Bolsas e Crédito Educativo (PRONABEC). De 2017 a 2018 foi presidente da Federação de Estudantes de Agronomia do Peru (FEAP). Foi presidente do grupo de projeção social Ciagrow. Em 2017 realizou estágio na Estación Experimental Agropecuário El Mantaro (E.E.A.E.M.), sob a orientação do Prof. Gustavo Osorio, M.Sc., no programa de tuberosas e raízes andinas auxiliando na caracterização morfológica de cultivares de *Solanum tuberosum*. Em 2019 realizou estágio na empresa Agroindústria Casablanca S.A.C.- La Calera nas culturas de abacate e citrus, realizando avaliações de pragas e doenças. De 2019 a 2020 trabalhou na empresa Agroindústria Casablanca, na área de produção de abacate Hass, realizando supervisão de aplicação de produtos fitossanitários e fertilizantes. Em 2021 trabalhou na empresa Inversiones Yauca S&F S.A.C. como representante de Vendas de produtos fitossanitários e fertilizantes. Além disso, também trabalhou nas empresas Insumos Agrícolas Mayra E.I.R.L. e Inversiones Mayra E.I.R.L. como representante de vendas de produtos fitossanitários e fertilizantes. Em agosto de 2021, iniciou o curso de Mestrado Acadêmico no programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal) da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Campus de Jaboticabal, sob orientação do Prof. Dr. Marcelo da Costa Ferreira e integrando o Núcleo de Estudos e Desenvolvimento em Tecnologia de Aplicação (NEDTA).

"As nuvens mudam sempre de posição, mas são sempre nuvens no céu. Assim devemos ser todo dia, mutantes, porém, leais com o que pensamos e sonhamos; lembre-se, tudo se desmancha no ar, menos os pensamentos"

PAULO BALEKI

A Victoria, minha mãe, e aos meus irmãos Noemi, Pablo, Madami Lucy e Madeleine, pelo amor incondicional e compreensão e me ensinaram a lutar e trabalhar pelos meus sonhos. Por sempre acreditar em minha capacidade. Eles são o maior tesouro que Deus me deu nesta vida.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me conceder a vida, força para enfrentar os desafios e iluminar meu caminho em esta etapa da minha vida.

À minha mãe, Victoria, por ser o pilar da minha vida e me incentivar sempre a melhorar nesta etapa distante de casa.

Aos meus irmãos e cunhada Noemi, Pablo, Madami Lucy, Madeleine e Sandra, pelo apoio que precisei, sempre torcendo e acreditando em mim.

Aos meus sobrinhos Ariana, Benjamin, Jhosemir e Adriano, que são meus amores e mesmo tão pequenos me motivam ser melhor a cada dia.

Aos meus familiares, avó, tios e primos pela oração e torcida.

Ao Prof. Dr. Juan Mendoza Cortez pela oportunidade e disponibilidade em me apoiar em esta etapa da minha vida profissional.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo da Costa Ferreira por confiar em mim, pelos ensinamentos, compreensão, apoio incondicional para meu crescimento profissional e pessoal e ter me permitido fazer parte do grupo de pesquisa do Núcleo de Estudos e Desenvolvimento em Tecnologia de Aplicação (NEDTA)

Ao grupo de pesquisa NEDTA, o qual faço parte com muito orgulho e satisfação de poder compartilhar experiencias com meus amigos Maria Thalia Lacerda Siqueira, Gabriela Pellegrini, Ana Beatriz Dilená Spadoni, Pedro Henrique Urach Ferreira, Rafael Alexandre Jiacometi Cardoso, Fabio Lima Peron, Aline Dell Passo Reis, Edimar Peterlini, Anderson Viera, Pedro Henrique Guellis Buzinaro e Wanderlei Dibelli pela contribuição deste trabalho, ajuda e companheirismo. Vocês tornaram esta etapa mais leve e prazerosa.

Aos meus irmãos e colegas Darllan Oliveira, Jarlyson Souza, Armando Brito, Francisco Amaral, Jardel Souza, Bruno Moreira, Marcelo Barbosa, Júlia Mercês, Erica Souza, Nagilla Moraes e Maynumi Scarano por sempre estarem dispostos a me ajudar e compartilhar momentos alegres.

Aos funcionários da horta Inauro Lima e Reinaldo Santos por me auxiliarem para continuar e terminar este trabalho.

Aos meus irmãos da República Xicreti Felipe Oliveira, João As, Antony Arruda, Lucas Agostini, João Branco, Vitor Bardella, Rafael Lopes e Thiago Carneiro por me receber e pelos bons momentos vividos.

À empresa Syngenta pelo fornecimento de produto fitossanitário.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP-FCAV), campus de Jaboticabal por ter me dado a oportunidade de fazer meu mestrado e proporcionado conhecimento para meu crescimento profissional. Em especial ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal) coordenado pelo Prof. Dr. Glauco de Souza Rolim e demais professores do programa pelo ótimo trabalho.

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

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1. Controle de plantas daninhas.....	2
2.2. Mistura em tanque.....	4
2.3. Herbicidas	5
2.4. Fertilizantes foliares	6
2.5. Aplicações de fertilizantes foliares e herbicidas em mistura	7
3. REFERÊNCIAS	9
CAPÍTULO 2 – QUANTO A MISTURA DE HERBICIDAS E FERTILIZANTES FOLIARES AFETA AS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS, COMPATIBILIDADE E ESTABILIDADE DE CALDAS FITOSSANITÁRIAS?.....	16
Resumo.....	16
Abstract.....	17
1. INTRODUÇÃO.....	18
2. MATERIAIS E MÉTODOS	19
3. RESULTADOS	21
4. DISCUSSÃO.....	29
5. CONCLUSÕES.....	31
6. REFERENCIAS	32
CAPÍTULO 3 – INTERAÇÃO DA MISTURA DE HERBICIDAS COM FERTILIZANTES FOLIARES NO CONTROLE DE <i>Urochloa decumbens</i> E <i>Amaranthus hybridus</i>	35
Resumo.....	35
Abstract.....	Erro! Indicador não definido.
1. INTRODUÇÃO.....	37
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	38
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4. CONCLUSÕES.....	56
5. REFERÊNCIAS	57
CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	62

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. INTRODUÇÃO

A tecnologia de aplicação dos produtos fitossanitários requer conhecimentos científicos que proporcionem a correta colocação do produto no alvo, em quantidade necessária, de forma econômica e mínima contaminação do ambiente (Matuo, 1990). Para o controle das plantas daninhas, a maioria dos produtores fazem uso do método químico, já que os herbicidas apresentam alta eficácia, ação rápida e custo baixo comparando com outros métodos de controle (Salomão et al., 2021).

A mistura de herbicidas pode resultar em uma série de benefícios significativos como redução de custos operacionais, do número de pulverizações, da compactação do solo, para melhorar o desenvolvimento das culturas que pode melhorar a produtividade e prevenir os casos de resistência de plantas daninhas (Carvalho et al., 2019). As misturas podem ser entre herbicidas, ou destes com fertilizantes foliares, adjuvantes, bioestimulantes, reguladores de crescimento, micronutrientes (Fe, Zn, B e Mn) e macronutrientes (enxofre) (Whitford et al., 2018), além de produtos de outras classes fitossanitárias como inseticidas e fungicidas.

Os produtores misturam os fertilizantes foliares com herbicidas de pós-emergência para reduzir custos operacionais ou reduzir danos nas culturas (Lawrence et al., 2020). Por outro lado, as misturas podem apresentar um efeito sinérgico, antagônico, ou aditivo pela suscetibilidade das caldas fitossanitárias de apresentar incompatibilidade físico-química (Bianchi et al., 2020). Por isso é importante avaliar a eficácia das misturas para garantir as aplicações.

A aplicação de fertilizantes foliares é uma técnica comum na maioria de culturas. Os fertilizantes podem suprir nutrientes carentes do solo, requeridos em maior quantidade em fases de crescimento e de reprodução, ou corrigir deficiências manifestados pelos sintomas das plantas (Otto et al., 2021). Além disso, os fertilizantes foliares são absorvidos através da cutícula, nervuras, tricomas, estômatos e demais estruturas epidérmicas (Fernández et al., 2021). No caso dos sais que contém os fertilizantes, estes podem alterar as ceras da cutícula melhorando a absorção dos conteúdos depositados sobre os alvos (Fernández et al., 2017).

Em um estudo da mistura de glifosato e fertilizante foliar observaram-se baixos níveis de intoxicação na cultura da soja (Forte et al., 2019). Outros autores assinalam que os aminoácidos, ingredientes dos fertilizantes foliares, participam na recuperação das plantas frente ao estresse e que aumenta rapidamente a capacidade fotossintética (Cruz et al., 2019). Além disso, a mistura do glifosato com bioestimulantes, derivados de *Ascophyllum nodosum*, mostraram compatibilidade físico-química e tiveram maior produtividade em relação à aplicação isolada do herbicida (Andrade et al., 2013). Enquanto a mistura de fertilizante foliar, com zinco, com glifosato e fomesafem apresentou 25% menos fitotoxicidade que as misturas com cloransulam e chlorimuron (Alencar et al., 2022).

Para garantir o sucesso das aplicações, é importante conhecer as propriedades dos produtos fitossanitários em mistura, a fim de evitar incompatibilidades físicas que possam obstruir as mangueiras, filtros ou bicos dos pulverizadores, reduzindo assim a eficiência das operações agrícolas. Além disso, a incompatibilidade pode comprometer a eficácia dos produtos e gerar riscos ambientais (Vale et al., 2019). Todos esses aspectos podem ser evitados, prevenindo paradas para a limpeza de pulverizadores e tanques prolongando a vida útil das máquinas.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da mistura de herbicidas com fertilizantes foliares na compatibilidade e propriedades físico-químicas das caldas fitossanitárias e no controle de *Urochloa decumbens* e *Amaranthus hybridus*.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Controle de plantas daninhas

As plantas daninhas são consideradas como o fator biótico mais importante na redução da produção de diversas culturas no mundo todo (Anthimidou et al., 2020). As perdas da produtividade ocorrem gradualmente pela competição de recursos essenciais e de forma indireta são hospedeiras de pragas e doenças, afetando o desenvolvimento das culturas.

O método químico é a principal forma de controle das plantas daninhas sendo os herbicidas amplamente utilizados para evitar reduções da produtividade (Riemens et al., 2022). Os herbicidas estão enquadrados em grupos como os difenil-éteres, ariloxifenoxi-propionatos, ureia, imidazolinonas, triquetona entre outros (Loux et al., 2013; Matzrafi et al., 2017). Por outro lado, o efeito dos herbicidas é reduzido quando as plantas daninhas estão em baixo estresse hídrico (Pereira et al., 2010). Essa condição gera alterações fisiológicas e morfológicas como alterações na quantidade e composição das ceras cuticulares que podem reduzir a penetração, absorção e translocação dos herbicidas (Trezzi et al., 2020; Santos et al., 2021).

Os níveis de controle dos herbicidas, para diferentes plantas daninhas, apresentaram melhor efeito sob condições ótimas de crescimento (Souza et al., 2014). A aplicação de herbicidas, em plantas sob algum tipo de estresse, apresenta mecanismos antioxidantes capazes de metabolizar os radicais livres (Darmanti et al., 2016). Por isso, no momento das aplicações deve-se considerar a atividade fisiológica das plantas daninhas.

Amaranthus hybridus é uma planta de metabolismo C₄, sendo a espécie mais representativa do gênero *Amaranthus*. Apresenta altura de crescimento que supera os 100 cm e pode chegar a produzir mais de 250.000 sementes por planta (Sellers et al., 2003). Além disso, essa espécie tem capacidade de mutação e hibridação interespecífica de desenvolver resistência para os herbicidas (Gaines et al., 2012). Essas características as tornam como alvo primário do controle das plantas daninhas.

Urochloa decumbens é uma gramínea do gênero *Urochloa*, a qual também apresenta metabolismo C₄, sendo considerada como uma planta daninha agressiva que inibe a germinação e crescimentos das culturas (Esteves et al., 2023). Além disso, podem adaptar-se às alterações climáticas pela persistência das sementes presentes no solo e podem reduzir quase a totalidade da incidência de luz no solo (Matloob et al., 2020). Outros autores relatam que esta espécie de planta daninha apresenta alta capacidade adaptativa e efeitos alopáticos em diversas culturas (Souza et al., 2006).

2.2. Mistura em tanque

As misturas de produtos fitossanitários podem oferecer vantagens como incrementar a eficácia dos produtos, aumentar o espectro de controle e redução da compactação do solo, economizando tempo e recurso no controle fitossanitário (Della Vechia et al., 2018). Mas, as misturas podem apresentar efeitos antagônicos dos ingredientes ativos e incompatibilidade físico-químico, essas reações podem alterar o pH, condutividade elétrica, tensão superficial, ângulo de contato e estabilidade das caldas (Maciel et al., 2010). Além disso, as misturas podem ter efeitos aditivos, sinérgicos ou antagônicos, podendo alterar a ação biológica dos produtos misturados (Ikeda, 2014).

A compatibilidade física pode não estar relacionado diretamente ao ingrediente ativo senão aos ingredientes inertes. Nas formulações granulado dispersível (WG) E granulado solúvel (SG) os ingredientes inertes atuam para dissolver ou dispersar os ingredientes ativos, em formulações líquidas evitam a sedimentação das partículas (Whitford et al., 2018). Por outro lado, as formulações suspensão concentrada (SC), dispersão em óleo (OD) e suspensão de encapsulado (CS) podem separar-se em fases, sendo preciso de homogeneizar as amistar antes de utilizá-lo. Para todas as misturas e importante a ordem de adição e agitação das misturas.

As misturas de herbicidas e fertilizantes foliares pode alterar o pH das caldas fitossanitárias, essas variações acima ou abaixo da faixa ideal pode reduzir a solubilidade o acelerar a degradação dos ingredientes ativos dos herbicidas afetando sua absorção e translocação (Grzanka et al., 2021). Mas, o pH das caldas devem ser ajustados dependendo das características da formulação de cada herbicida. Além disso, as misturas podem sofrer alterações físicas dependendo das características dos ingredientes ativos (Petter et al., 2013).

O efeito biológico das misturas depende das formulações dos produtos fitossanitários, a dose, o alvo e o estágio das plantas (Ikeda, 2014). Por outra lado, a estabilidade das caldas fitossanitárias está associada às características das formulações e compatibilidade dos produtos (Petter et al., 2013). Todo o mencionado pode evitar a gerar entupimento das pontas de pulverização, mangueiras e filtros no

sistema de pulverização das máquinas e muitas vezes as incompatibilidades dos produtos geram sedimentos e incrustações de difícil solubilidade; todo isso reduz a eficiência operacional e reduzindo a concentração do produto nas pulverizações.

2.3. Herbicidas

As formulações de herbicidas concentrados, em geral, apresentam características que facilitam o armazenamento, mistura e aplicação. Os ingredientes ativos já possuem processos de formulação com ingredientes inertes, que os permitam a diluição, estabilidade e aplicação (Tominack e Tominack, 2000). As formulações podem ser líquidos solúveis, concentrados emulsificáveis, concentrados em suspensão ou géis, ou sólidos, que incluem pós molháveis e grânulos dispersíveis em água. O efeito biológico dos herbicidas depende do ingrediente ativo, susceptibilidade da planta, absorção e translocação; os herbicidas de contato e sistêmicos devem penetrar a cutícula atingir ao citoplasma da célula ou ser translocado para atingir ao sítio de ação, respectivamente (Mendes et al., 2022).

O imazapique, do grupo das imidazolinonas, inibe a enzima acetolactato sintase (ALS), na via biossintética de aminoácidos de cadeia ramificada como são valina, leucina e isoleucina, sendo considerados aminoácidos essenciais para as plantas (Webster et al., 2017; Anthimidou et al., 2020). Os herbicidas ALS apresentam 57 ingredientes ativos, sendo o maior grupo dos sítios de ação e mais utilizado na agricultura desde 1982, quando foram introduzidos.

O herbicida tembotriona do grupo das triquetonas interrompe a biossíntese de carotenoides, inibindo a 4-hidroxifenilpiruvato desidrogenase (HPPD) (Pinke et al., 2014). O linuron do grupo da ureia, inibe o fotossistema II (FS-II) e a produção de moléculas armazenadoras de energia, como adenosina trifosfato (ATP) e nicotinamida adenina nucleotídeo fosfato (NADPH); o herbicida fomesafem do grupo difeniléteres inibe a enzima protoporfirinogênio oxidase (PPOs) (HRAC, 2023).

O herbicida fluazifope-P-butilico do grupo ariloxifenoxi-propionatos inibe a acetylCoA carboxilase (ACCase), enzima essencial para a síntese de ácidos graxos das plantas (Negre et al., 1988; Anthimidou et al., 2020). Esse herbicida é comumente

utilizado para o controle de plantas daninhas de folha estreita como as espécies de *Urochloa sp.* conhecidas como capim braquiária.

Os herbicidas fomesafem, fluazifop-P-butílico, tembotriona e imazapique, em relação ao coeficiente de dissociação (pK_a), apresentam valor de 2,83, 3,12, 2,0 e 3,8 e são classificados como ácido forte, fraco, forte e fraco, respectivamente; no caso do tembotriona é classificado como não ionizáveis (PPDB, 2023).

2.4. Fertilizantes foliares

Estudos ressaltam o uso da ureia e sulfato de amônio em mistura com glifosato que melhoram o efeito de controle das plantas daninhas (Carvalho et al., 2008). A ureia pode quebrar as ligações éster, éter e di-éter constituintes das ceras na cutícula e passar do apoplasto ao simplasto sem gasto de energia (Durigan, 1992). Por outro lado, o sulfato de amônio contém o ânion sulfato que ligado ao cátion cálcio forma precipitados de sulfato de cálcio e o amônio ligado ao glifosato pode penetrar sem dificuldade a cutícula das plantas ($CaSO_4$) (Thelen et al., 1995).

A aplicação de fertilizantes foliares tem vantagens por ser rápida, eficiente, barata e facilmente absorvida pelas plantas (Neuhaus et al., 2014; Malhotra et al., 2020). A fertilização foliar de P e K no crescimento inicial das plantas favorece ao sistema radicular aumentando a absorção de P e K derivados do solo (Mallarino et al., 2001). Em condições ácidas vários macronutrientes apresentam limitada disponibilidade pelo maior acúmulo de Fe e Al nos solos argilosos (Ghosh et al., 2021). Em solos alcalinos, as plantas apresentam deficiências de micronutrientes como Zn, Fe e Mn (Mussarat et al., 2021). Nesses tipos de solo é indicada a fertilização foliar para suprir as deficiências.

Os bioestimulantes com *Ascophyllum nodosum* apresentam uma mistura de macro e micronutrientes, hormônios vegetais, aminoácidos e ácidos graxos (Povero et al., 2016). Esses compostos melhoram as atividades enzimáticas estimulando o desempenho metabólico das culturas (Van Oosten et al., 2017). Por isso as aplicações de fertilizante foliar e bioestimulantes induzem inúmeras respostas bioquímicas, fisiologias e morfológicas das plantas frente ao estresse (Ishfaq et al., 2022). Da

mesma forma as plantas daninhas frente ao estresse diminuem a capacidade de absorção e translocação dos herbicidas, isso pode alterar o efeito de controle das plantas daninhas.

2.5. Aplicações de fertilizantes foliares e herbicidas em mistura

A aplicação de fertilizantes com produtos fitossanitários reduz o número de operações nas culturas (Gu et al., 2023). A eficiência foliar de potássio é favorecida com pH das caldas fitossanitárias menor que 7, melhorando a absorção e teor do elemento nas plantas (Hamze e Khoshgoftarmanesh, 2023). Essas características de aplicação apoiam as misturas de fertilizantes com herbicidas, sendo este último favorecido em esse tipo de caldas.

Na cultura da soja a mistura, do fertilizante foliar NPK + micronutrientes com herbicidas glifosato, lactofen, tetraloxydim e imazethapyr, não apresentou fitotoxicidade e interferência no controle de plantas daninhas, e aumentou a massa de grãos da cultura (Moraes et al., 2016). Na cultura do trigo, a mistura de fertilizante húmico com os herbicidas tribenuron-metil + metsulfuron-metil aumentou a produtividade em 1,26 vezes e reduziu a fitotoxicidade e houve um efeito positivo na proteína dos grãos (Verbitskaya et al., 2022). Em espécies arbóreas como eucalipto, a mistura de herbicidas com fertilizante foliar de nitrogênio e micronutrientes reduziu na fitotoxicidade do indaziflam (Barroso et al., 2022). Em outra pesquisa a mistura de fertilizante foliar com glifosato reduziu a intoxicação, absorção e translocação do herbicida (Adriano et al., 2021).

Em pesquisas com a cultura do milho, a mistura de herbicidas nicosulfuron e mesotriona com fertilizante foliar resultaram em aumento de fitoquímicos como β -carotenos, podendo melhorar a qualidade nutritiva do milho doce (Mesarović et al., 2019). Outros autores relatam que a mistura de fertilizante foliar com o herbicida foramsulfuron, na cultura do milho, oferece uma estratégia de aplicação segura que evita a redução de matéria seca e a produtividade em relação à aplicação do herbicida isolado. Por isso, deve-se incorporar no controle de plantas daninhas (Brankov et al., 2020).

Os pesquisadores Radhakrishnan et al. (2018) e El-Sobki et al. (2021) relataram que os herbicidas reduzem os teores de proteínas e aminoácidos, mas as misturas de fertilizante foliar e herbicidas podem aumentaram o teor de proteínas (Delchev et al., 2015). Por outro lado, também podem aumentar a produtividade e reduzir o tempo de recuperação de intoxicação das culturas, sem afetar o controle das plantas daninhas (Cosmo Dranca et al., 2018).

3. REFERÊNCIAS

Adriano RC, Mendes KF, Alcántara-de la Cruz R, Nascimento JLM, Ferreira LR, Tornisiello VL (2021) Effect of Fertiactyl® on the absorption and translocation of ¹⁴C-glyphosate in young eucalyptus plants. **Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes** 56(3): 235–240.

Anthimidou E, Ntoanidou S, Madesis P, Eleftherohorinos I (2020) Mechanisms of *Lolium rigidum* multiple resistance to ALS- and ACCase-inhibiting herbicides and their impact on plant fitness. **Pesticide Biochemistry and Physiology** 164:65–72.

Barroso GM, Carvalho AJE, Custódio IG, Correa JM, Duque TS, Silva DV, Fernandes, BCC, Batista LP, Santos JB (2022) Sensitivity of Eucalyptus Clones to Herbicides Associated with Foliar Fertilizers. **Forests** 13(9).

Bianchi L, Anunciato VM, Gazola T, Perissato SM, Carvalho RD, Tropaldi L, Carbonari CA, Velini ED (2020) Effects of glyphosate and clethodim alone and in mixture in sourgrass (*Digitaria insularis*). **Crop Protection** 138:105322.

Brankov M, Simic M, Mesarovic J, Kresovic B, Dragicevic V, Brankov M, Simic M, Mesarovic J, Kresovic B, Dragicevic V (2020) Integrated effects of herbicides and foliar fertilizer on corn inbred line. **Chilean Journal of Agricultural Research** 80(1):50–60.

Carvalho SJP, Dias ACR, Damin V, Nicolai M, Christoffoleti PJ (2008) Glifosato aplicado com diferentes concentrações de uréia ou sulfato de amônio para dessecação de plantas daninhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 43:1501–1508.

Carvalho SJP, Rossi CVS, Melo MSC, Christoffoleti PJ, Kagi FY (2019) Modifications on Labels and Leaflets of Herbicides for Preventing and Managing Resistance. **Planta Daninha** 37.

Cosmo Dranca A, Osco Helvig E, Goes Maciel CD, Antônio Carbonari C, Domingues Velini E (2018) Associações de herbicidas com fertilizante foliar e regulador vegetal em soja. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science/Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada Nas Ciências Agrárias** 11(3).

Cruz GG, Baccin LC, Albrecht LP, Albrecht AJP, Krenchinski FH (2019) Fertilizantes foliares, regulador de crescimento e glyphosate no crescimento vegetativo da soja tolerante ao glyphosate. **Colloquium Agrariae ISSN: 1809-8215** 15(6):55–62.

Silva de Alencar E, Lescano Geist M, Morales Pereira JP, Ferrari Schedenfeldt B, Alves Nunes F, Vinicius da Silva P, Dupas E, Mauad M, Andrea Monquero P, Silva de Medeiros E (2022) Selectivity of post-emergence herbicides and foliar fertilizer in soybean crop. **Revista de Ciencias Agroveterinarias** 21(4).

Darmanti S, Dewi K, Nugroho LH (2016) Antioxidative defenses of soybean [*Glycine max* (L.) Merr. cv. Grobogan] against purple nutsedge (*Cyperus rotundus* L.) interference during drought stress. **Journal of Animal & Plant Sciences** 26(1).

Andrade D, Ferreira CM, Fenólio LG (2013) Compatibilidade entre acaricidas e fertilizantes foliares em função de diferentes águas no controle do ácaro da leprose dos citros *Brevipalpus phoenicis*. **Revista Brasileira de Fruticultura** 35(1):39–50.

Moraes NC, Jakelaitis A, Cardoso IS, Rezende PN, Araújo VT, Junior NSV, Tavares CJ (2016) Efeitos de herbicidas e adubo foliar em mistura de tanque na cultura da soja. **Magistra** 28(2):233–243.

Souza F, Sasso G, Rocha Pereira MR, Martins D (2014) Baixa umidade do solo na eficácia de herbicidas aplicados em pré-emergência. **Bioscience Journal** 555–562.

Delchev G, Dospatliev L, Katrandzhiev N, Stoyanova A (2015) Durum wheat grain yield and quality influenced by some mixtures of foliar fertilizers and combined herbicides. **Comptes Rendus de l'Académie Bulgare Des Sciences** 68(9).

Della Vechia JF, Ferreira MC, Andrade DJ (2018) Interaction of spiroticlofen with insecticides for the control of *Brevipalpus yotheresi* in citrus. **Pest Management Science** 74(11):2438–2443.

Santos JCC, Silva DMR, Amorim DJ, Sab MPV, Almeida Silva M (2021) Glyphosate hormesis mitigates the effect of water deficit in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). **Pest Management Science** 77(4):2029–2044.

Durigan JC (1992) Efeito de adjuvantes na calda e do estágio de desenvolvimento das plantas, no controle do capim-colonião (*Panicum maximum*) com glyphosate. **Planta Daninha** 10:39–44.

El-Sobki AE, Saad AM, El-Saadony MT, El-Tahan AM, Taha AE, Aljuaid BS, El-Shehawi AM, Salem REME (2021) Fluctuation in amino acids content in *Triticum aestivum* L. cultivars as an indicator on the impact of post-emergence herbicides in controlling weeds. **Saudi Journal of Biological Sciences** 28(11):6332–6338.

Esteves AT, Junior PCO, Marangoni JA, Mariano SS, Maurino JS, Silva RMMF, Pereira ZV, Formagio ASN (2023) Constituent content and allelopathic potential of eighteen extracts for the control of *Urochloa decumbens* under laboratory conditions. **South African Journal of Botany** 158:197–202.

Fernández V, Bahamonde HA, Peguero-Pina JJ, Gil-Pelegrín E, Sancho-Knapik D, Gil L, Goldbach HE, Eichert T (2017) Physico-chemical properties of plant cuticles and their functional and ecological significance. **Journal of Experimental Botany** 68(19):5293–5306.

Fernández V, Gil-Pelegrín E, Eichert T (2021) Foliar water and solute absorption: an update. **The Plant Journal** 105(4):870–883.

Forte CT, Menegat AD, Galon L, Agazzi LR, Franceschetti MB, Basso FJM, Bagnara MAM, Chechi L, Perin GF (2019) Effects of glyphosate and foliar fertilizers on the glyphosate resistant (GR) soybean. **Australian Journal of Crop Science** 13(8):1251–1257.

Gaines TA, Ward SM, Bukun B, Preston C, Leach JE, Westra P (2012) Interspecific hybridization transfers a previously unknown glyphosate resistance mechanism in *Amaranthus* species. **Evolutionary Applications** 5(1):29–38.

Ghosh D, Mandal M, Pattanayak SK (2021) Long term effect of integrated nutrient management on dynamics of phosphorous in an acid inceptisols of tropical India. **Communications in Soil Science and Plant Analysis** 52(19):2289–2303.

Grzanka M, Sobiech Ł, Skrzypczak G, Piechota T (2021) Herbicides efficacy against volunteer oilseed rape as influenced by spray solution pH. **Agronomy** 11(5):887.

Gu XY, Liu Y, Liu YH, Paliwal J, Wen XX (2023) Effects of foliar spraying of potassium fertilizer on the contents of microelement, phytic acid and HMW-GS in wheat flour. **Journal of Cereal Science** 110:103621.

Hamze MR, Khoshgoftarmanesh AH (2023) The characteristics of foliar potassium uptake in pistachio as affected by the fertilizer source and solution pH. **Scientia Horticulturae** 312:111842.

Ikeda FS (2014) Resistência de plantas daninhas em soja resistente ao glifosato. **Embrapa Agrossilvipastoril**.

Ishfaq M, Kiran A, ur Rehman H, Farooq M, Ijaz NH, Nadeem F, Azeem I, Li X, Wakeel A (2022) Foliar nutrition: Potential and challenges under multifaceted agriculture. **Environmental and Experimental Botany** 200:104909.

Lawrence BH, Hydrick HT, Bond JA, Golden BR, Allen TW, Sanders T (2020) Weed control and soybean (*Glycine max* (L.) merr) response to mixtures of a blended foliar fertilizer and postemergence herbicides. **Agronomy** 10(11):1719.

Loux MM, Doohan D, Dobbels AF, Johnson WG, Nice GRW, Jordan TN, Bauman TT (2013) **Weed control guide for Ohio and Indiana**. Ohio State University Extension and Purdue Extension.

Maciel CDG, Guerra N, Oliveira Neto AM, Poletine JP, Bastos SLW, Dias NMS (2010) Tensão superficial estática de misturas em tanque de glyphosate+ chlorimuron-ethyl isoladas ou associadas com adjuvantes. **Planta Daninha** 28:673–685.

Malhotra H, Pandey R, Sharma S, Bindraban PS (2020) Foliar fertilization: possible routes of iron transport from leaf surface to cell organelles. **Archives of Agronomy and Soil Science** 66(3):279–300.

Mallarino AP, Haq MU, Witty D, Bermudez M (2001) Variation in soybean response to early season foliar fertilization among and within fields. **Agronomy Journal** 93(6):1220–1226.

Matloob A, Safdar ME, Abbas T, Aslam F, Khaliq A, Tanveer A, Rehman A, Chadhar AR (2020) Challenges and prospects for weed management in Pakistan: A review. **Crop Protection** 134:104724.

Matuo, T. (1990). Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas. FUNEP. 139p.

Matzrafi M, Gerson O, Rubin B, Peleg Z (2017) Different mutations endowing resistance to Acetyl-CoA Carboxylase inhibitors results in changes in ecological fitness of *Lolium rigidum* populations. **Frontiers in Plant Science** 8:1078.

Mendes KF, Mielke KC, D'Antonino L, Alberto AS (2022) Retention, Absorption, Translocation, and Metabolism of Herbicides in Plants BT - Applied Weed and Herbicide Science (K. F. Mendes & A. Alberto da Silva (eds.)). **Springer International Publishing**. pp. 157–186

Mesarović J, Srdić J, Mladenović-Drinić S, Dragičević V, Simić M, Brankov M, Milojković-Opsenica D (2019) Evaluation of the nutritional profile of sweet maize after herbicide and foliar fertilizer application. **Journal of Cereal Science** 87:132–137.

Mussarat M, Ali H, Muhammad D, Mian IA, Khan S, Adnan M, Fahad S, Wahid F, Dawar K, Ali S (2021) Comparing the phosphorus use efficiency of pre-treated (organically) rock phosphate with soluble P fertilizers in maize under calcareous soils. **PeerJ** 9:e11452.

Negre M, Gennari M, Cignetti A, Zanini E (1988) Degradation of Fluazifop-butyl in Soil and Aqueous Systems. **J. Agríc. FoodChem** 36:1319–1322.

Neuhaus C, Geilfus C, Mühling K (2014) Increasing root and leaf growth and yield in Mg-deficient faba beans (*Vicia faba*) by MgSO₄ foliar fertilization. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science** 177(5):741–747.

Otto R, Marques JPR, Pereira HWC (2021). Strategies for probing absorption and translocation of foliar-applied nutrients. **Journal of Experimental Botany** 72(13):4600–4603.

Pereira MRR, Martins D, Silva JIC, Rodrigues-Costa ACP, Klar AE (2010) Efeito de herbicidas sobre plantas de *Brachiaria plantaginea* submetidas a estresse hídrico. **Planta Daninha** 28:1047–1058.

Petter FA, Segate D, Almeida FA, Neto FA, Pacheco LP (2013) Incompatibilidade física de misturas entre inseticidas e fungicidas. **Comunicata Scientiae** 4(2):129–138.

Pinke G, Tóth K, Kovács AJ, Milics G, Varga Z, Blazsek K, Gál KE, Botta-Dukát Z, Botta Z, Alm K, Kovács A, Gábor Milics AJ, An Varga Z, Al KEG, An Botta-Dukát Z (2014) Use of mesotrione and tembotrione herbicides for post-emergence weed control in alkaloid poppy. **International Journal of Pest Management** 60(3):187–195.

Povero G, Mejia JF, Di Tommaso D, Piaggese A, Warrior P (2016) A systematic approach to discover and characterize natural plant biostimulants. **Frontiers in Plant Science** 7:435.

Radhakrishnan R, Alqarawi AA, Abd Allah EF (2018) Bioherbicides: Current knowledge on weed control mechanism. **Ecotoxicology and Environmental Safety** 158:131–138.

Riemens M, Sønderskov M, Moonen AC, Storkey J, Kudsk P (2022) An integrated weed management framework: a pan-European perspective. **European Journal of Agronomy** 133:126443.

Salomão HM, Trezzi MM, Pagnoncelli Junior FB, Suchoronczek A, Viecegli M, Hartmann KCD (2021) Control of *Ipomoea grandifolia* and antioxidant enzyme activity with bentazon and glyphosate at times and soil water conditions. **Communications in Plant Sciences** 11.

Sellers BA, Smeda RJ, Johnson WG, Kendig JA, Ellersieck MR (2003) Comparative growth of six *Amaranthus* species in Missouri. **Weed Science** 51(3):329–333.

Souza LS, Velini ED, Martins D, Rosolem CA (2006) Allelopathic effects of *Brachiaria decumbens* on the initial development of seven crops. **Planta Daninha** 24(4):657–668.

Thelen KD, Jackson EP, Penner D (1995) The basis for the hard-water antagonism of glyphosate activity. **Weed Science** 43(4):541–548.

Tominack RL, Tominack R (2000) Herbicide formulations. **Journal of Toxicology: Clinical Toxicology** 38(2):129–135.

Trezzi MM, Teixeira SD, Lima VA, Scalcon EL, Pagnoncelli Junior FB, Salomão HM (2020) Relationship between the amount and composition of epicuticular wax and tolerance of *Ipomoea* biotypes to glyphosate. **Journal of Environmental Science and Health, Part B** 55(11):959–967.

Vale RL, Netto AM, Toríbio BXL, Lâvor Paes MB, Siqueira JPS (2019) Assessment of the gray water footprint of the pesticide mixture in a soil cultivated with sugarcane in the northern area of the State of Pernambuco, Brazil. **Journal of Cleaner Production** 234:925–932.

Van Oosten MJ, Pepe O, Pascale S, Silletti S, Maggio A (2017) The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture** 4:1–12.

Verbitskaya NV, Kondratenko EP, Starovoitova EV, Soboleva OM, Sergeeva IA (2022) Efficiency of liquid humic fertilizer and herbicidal treatment in spring soft wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivation technology. **Research on Crops** 23(1):15–20.

Webster TM, Grey TL, Ferrell JA (2017) Purple Nutsedge (*Cyperus rotundus*) Tuber Production and Viability Are Reduced by Imazapic. **Weed Science**, 65(1):97–106.

Whitford F, Patton A, Johnson B, Olds M, Cloyd RA, Young BG, Linscott D, Deveau J, Reiss J, Smith KL, Overley T. (2018). **Avoid tank mixing errors. A guide to applying the principles of compatibility and mixing sequence.**

CAPÍTULO 2 – QUANTO A MISTURA DE HERBICIDAS E FERTILIZANTES FOLIARES AFETA AS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS, COMPATIBILIDADE E ESTABILIDADE DE CALDAS FITOSSANITÁRIAS?

QUANTO A MISTURA DE HERBICIDAS E FERTILIZANTES FOLIAR AFETA AS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS, COMPATIBILIDADE E ESTABILIDADE DE CALDAS FITOSSANITÁRIAS?

Resumo

As misturas em tanque dos produtos fitossanitários e fertilizantes foliares é uma prática comum para redução do número e do custo das aplicações à campo, mas que podem apresentar incompatibilidades físico-químicas e problemas de O objetivo desta pesquisa foi avaliar a compatibilidade e propriedades físicas-químicas da mistura de herbicidas e fertilizantes foliares. Para as avaliações foi utilizado o delineamento inteiramente ao acaso em fatorial duplo (4x4 + testemunha) com 4 repetições. Os fatores 1 e 2 se constituíram pelos herbicidas fomesafem + fluazifope-P-butílico, linuron, imazapique e tembotriona e fertilizantes foliares NK-C, NPK e NK-Micronutrientes, respectivamente. As variáveis avaliadas foram propriedades físico-químicas das caldas, viscosidade, diâmetro de gotas (V 0,1; 0,5; 0,9), tensão superficial e ângulo de contato. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Os tratamentos avaliados não apresentaram incompatibilidade físico-química. O fertilizante foliar (NPK) apresentou o maior efeito no pH e condutividade elétrica. No caso da viscosidade, os herbicidas fomesafem + fluazifope-P-butílico e linuron, isolados e em mistura, apresentaram maiores valores. A maioria dos tratamentos aumentaram o tamanho das gotas. Conclui-se que as misturas não apresentam incompatibilidades físico-químicas com tendencia do aumento da viscosidade e tamanho de gotas; em relação da tensão superficial e ângulo de contato, as misturas apresentam efeitos diferentes.

Palavras-chaves: pH, condutividade elétrica, características físico-química, formulações.

HOW MUCH DOES THE MIXTURE OF HERBICIDES AND FOLIAR FERTILIZERS AFFECT THE PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS, COMPATIBILITY AND STABILITY OF PLANT PROTECTION SYRUPS?

Abstract

Tank mixtures of phytosanitary products and foliar fertilizers are a common practice to reduce the number and cost of applications in the field, but they can present physical-chemical incompatibilities and problems. The aim of this research was to evaluate the compatibility and physical-chemical properties of the mixture of herbicides and foliar fertilizers. For the evaluations, a completely randomized design was used in a double factorial design (4x4 + control) with 4 replications. Factors 1 and 2 consisted of the herbicides fomesafem + fluazifop-P-butyl, linuron, imazapyc and tembotrione and the foliar fertilizers NK-C, NPK and NK-Micronutrients, respectively. The variables evaluated were the physicochemical properties of the syrups, viscosity, droplet diameter (V 0.1; 0.5; 0.9), surface tension and contact angle. The means were compared using the Tukey test ($p < 0.05$). The treatments evaluated showed no physical-chemical incompatibility. The foliar fertilizer (NPK) had the greatest effect on pH and electrical conductivity. The foliar fertilizer (NPK) had the greatest effect on pH and electrical conductivity. In the case of viscosity, the herbicides fomesafem + fluazifop-P-butyl and linuron, alone and in a mixture, showed the highest values. Most treatments increased droplet size. It can be concluded that the mixtures do not present physical-chemical incompatibilities with a tendency to increase viscosity and droplet size; in relation to surface tension and contact angle, the mixtures present different effects.

Keywords: pH, electrical conductivity, physicochemical characteristics, formulations.

1. INTRODUÇÃO

A misturas em tanque de produtos fitossanitários é uma técnica comum no controle das plantas daninhas, pragas e doenças (Rakes et al., 2018). A utilização combinada de diversos produtos oferece vantagens, tais como o aprimoramento da eficácia dos produtos, incremento do espectro de controle, a redução de casos de resistência e compactação do solo. Isso resulta em economia de tempo e recursos nas aplicações fitossanitárias (Della Vechia et al., 2018).

No momento de preparo das caldas fitossanitárias, as misturas podem formar sedimentos, precipitados e separação de fases, isso afetara o desempenho dos produtos fitossanitários (Fishel, 2020). Essas alterações podem influir nas propriedades físico-químicas das caldas alterando o pH, condutividade elétrica, viscosidade entre outros (Costa et al., 2017). Além disso, algumas misturas podem aumentar a fitotoxicidade nas culturas reduzindo a produtividade (Rakes et al., 2018). Por essa razão é necessário identificar a compatibilidade entre os produtos fitossanitários para manter a eficiência das aplicações.

A compatibilidade das misturas depende das propriedades físico-químicas das formulações que determinam a interação entre produtos. Podem ser citados fatores como a dureza da água, temperatura, condições de armazenamento e pH das caldas e solventes como água, óleos ou fertilizantes foliares (Whitford et al., 2018). A formulação dos produtos fitossanitários contém ingredientes para estabilizar a mistura, melhorar a eficácia, retardar a evaporação ou aumentar a vida meia dos produtos (Duke, 2018). As interações na mistura podem acelerar a degradação das moléculas reduzindo a vida meia das moléculas (Fishel e Ferrell, 2019).

No uso dos produtos fitossanitários deve-se considerar, quando disponíveis, as recomendações da bula dos produtos para evitar incompatibilidades das misturas e manter o efeito biológico dos produtos, podendo-se realizar testes prévios de mistura em escala reduzida, para identificar eventuais incompatibilidades (Gazziero, 2015). Para isso, existe um teste rápido nominado de “teste da garrafa” onde a mistura é realizada na mesma proporção e sequência dos produtos (Whitford et al., 2018), ou pode-se utilizar a metodologia da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)

para avaliar a compatibilidade físico-química de agrotóxicos em laboratório (ABNT, 2014). A sequência correta de adição dos produtos no reservatório do pulverizador pode minimizar incompatibilidades físicas e químicas (Fishel, 2020). Importante ressaltar que os bons procedimentos de preparo e de agitação das caldas precisam ser respeitados, com a finalidade de manter a uniformidade das caldas fitossanitárias.

Por tanto, sendo necessário estudar os efeitos das misturas. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a compatibilidade e propriedades físicas-químicas da mistura de herbicidas e fertilizantes.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As misturas foram preparadas e avaliadas em condições de laboratório no Núcleo de Estudos e Desenvolvimento em Tecnologia de Aplicação (NEDTA) do departamento de fitossanidade da Universidade Estadual Paulista (UNESP/FCAV). Os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente ao acaso em esquema fatorial 4x4 + testemunha com 4 repetições, sendo os herbicidas Fusiflex® (F: fomesafem 125 g L⁻¹ + fluazifope-P-butílico 125 g L⁻¹, SL), Afalon® (L: linuron 450 g L⁻¹, SC), Plateau® (I: imazapique 700 g kg⁻¹, WG) e Soberan® (T: tembotriona 420 g L⁻¹, SC) e os fertilizantes foliares Aminom® (N: N-K-CO:11-1-6%), Raizal® (P: N-P-K: 9-45-11%) e Biozyme® (M: N-K-B-Fe-Mn-S-Zn-CO:1-5-0,08-0,4-1-2-3-5%) (Tabela 1).

As avaliações de estabilidade e compatibilidade físico-químico, da mistura de herbicidas e fertilizante foliares, foram baseados na metodologia da NBR 13875 (ABNT, 2014). O preparo das caldas foi realizado com água padrão, com dureza total 20 mg kg⁻¹ de CaCO₃, conforme a NBR 13074 (ABNT, 1997). Para as misturas dos produtos foram utilizadas provetas graduadas de 250 mL, os quais foram enchidos com água até os $\frac{3}{4}$ do volume, adiciona-se os herbicidas seguidos dos fertilizantes foliares para depois completar-se com água. As provetas foram tampadas e invertida por 10 vezes consecutivas para homogeneização das caldas fitossanitárias. As avaliações foram realizadas às 0, 2, 6 e 24 horas após preparo (ABNT, 1997).

As avaliações da compatibilidade física, mediante observações das caldas nas provetas, foram realizadas identificando os efeitos das interações entre os produtos

quanto a homogeneidade/heterogeneidade, tendo como parâmetros a formação de: espuma, grumos, cristais, creme; sedimentação e separação de fases (ABNT, 2014). Para avaliar a formação de cristais foi utilizado uma peneira de tecido metálico com abertura nominal de 149 μm (malha 100 Mesh), conforme a NBR NM-ISSO 3310 (ABNT, 2010).

Tabela 1: Herbicidas e fertilizantes foliares utilizados no experimento de avaliação de compatibilidade de caldas fitossanitárias.

TRAT.	FATOR 1	FATOR 2	DOSAGEM (p.c. ha ⁻¹)
F	Fomesafem + fluazifope-P- butílico	Sem	2,0 L
FN		NK-C	2,0 L + 0,8 L
FP		NPK	2,0 L + 1,0 kg
FM		NK-Mic.	2,0 L + 0,25 L
L	Linuron	Sem	1,6 L
LN		NK-C	1,6 L + 0,8 L
LP		NPK	1,6 L + 1,0 kg
LM		NK-Mic.	1,6 L + 0,25 L
I	Imazapique	Sem	0,14 kg
IN		NK-C	0,14 kg + 0,8 L
IP		NPK	0,14 kg + 1,0 kg
IM		NK-Mic.	0,14 kg + 0,25 L
T	Tembotriona	Sem	0,24 L
TN		NK-C	0,24 L + 0,8 L
TP		NPK	0,24 L + 1,0 kg
TM		NK-Mic.	0,24 L + 0,25 L
TS	Testemunha		

*Herbicidas Fomesafem + fluazifope-P-butílico (**F**), linuron (**L**), imazapique (**I**) e tembotriona (**T**) e os fertilizantes foliares NK-C (**N**), NPK (**P**) e NK-Mic (**M**).

As avaliações de condutividade elétrica e pH foram realizadas com um condutivímetro de bancada (Marte®, MP11P) e por um pHmetro de bancada (Quimis®, Q400RS), respectivamente. O solvente tinha pH de 9,35 e condutividade

elétrica de $26,58 \mu\text{S cm}^{-1}$. Em complemento, as mesmas caldas foram submetidas para as avaliações de tensão superficial e ângulo de contato.

As avaliações de tensão superficial e ângulo de contato foram realizadas utilizando um tensiômetro automático OCA-15Plus (DataPhysics Instruments GmbH) equipado com câmera digital de alta velocidade e o software SCA20®. Neste equipamento, a tensão superficial e ângulo de contato foram determinadas pelo método da gota pendente e gota sésil em uma lâmina de filme parafínico (Parafilm®), respectivamente. As imagens foram capturadas em sequência durante um minuto, permitindo a visualização da imagem no monitor do computador. As imagens foram analisadas instantaneamente por assimetria de eixos (Rotenberg et al., 1983). Para avaliação de viscosidade das caldas dos tratamentos foi utilizado o viscosímetro rotativo US solid USS-DVT4, montado com um adaptador para baixa viscosidade com rotor número 0 e uma velocidade de 60 rpm.

O diâmetro das gotas produzidas foi determinado em um analisador de tamanho de partícula Mastersizer S (Malvern Panalytical Ltd., Malvern, Reino Unido), versão 2.19. Neste equipamento a unidade óptica determina o diâmetro das gotas do jato pulverizado, através do método de difração a laser (Calore et al., 2015). A pulverização foi realizada com pontas de pulverização (Magnojet®, ST-05), para cada tratamento das caldas preparadas, em quatro repetições. A pressão da pulverização foi mantida constante por ar comprimido, em 340 kPa. O diâmetro das gotas (μm) foi medido e representado pelos valores de $DV_{0,1}$, $DV_{0,5}$ e $DV_{0,9}$. Também foi determinado para cada tratamento, o coeficiente de uniformidade das gotas (SPAN) e a porcentagem de volume com gotas menores que $100 \mu\text{m}$, consideradas muito sujeitas à deriva.

3. RESULTADOS

Nas avaliações do pH das caldas fitossanitárias (Tabela 2), os herbicidas linuron (L) e fomesafem + fluazifope-P-butílico (F), após o preparo, apresentaram valores maiores que os herbicidas tembotrione (T) e imazapaqui (I) e, esses herbicidas, em mistura com fertilizantes foliares diminuiriam o pH. De forma geral, os

herbicidas imazapique e tembotriona, com adição de fertilizantes foliares, apresentaram os menores valores de pH. Por outro lado, a avaliação do tratamento (F), no horário de 24 horas, mostrou a tendência de reduzir o pH da calda, que passou de 10,90 a 7,85 de pH.

Tabela 2: Avaliação do pH das caldas fitossanitárias compreendidos nos horários de 0, 2, 6 e 24 horas após preparo (HAP).

Trat.	HAP							
	0		2		6		24	
F	10,19	Ba	10,13	Ba	10,90	Aa	7,85	Ba
FN	5,95	Bc	5,90	Bc	5,76	Bc	6,11	Ab
FP	5,62	Ad	5,52	Bd	5,61	Bd	5,74	Ad
FM	6,99	Bb	6,83	Bb	6,17	Ab	6,05	Ac
L	10,37	Aa	10,25	Aa	10,78	Ba	10,56	Aa
LN	6,09	Ac	6,09	Ac	6,02	Ab	6,05	Ab
LP	5,62	Ad	5,73	Ad	5,87	Ac	5,73	Ac
LM	7,07	Ab	6,91	Ab	6,03	Bb	6,04	Ab
I	3,12	Dc	3,04	Dc	2,95	Dd	2,57	Dd
IN	3,92	Db	3,88	Db	3,77	Db	3,59	Db
IP	4,53	Ca	4,95	Ca	4,44	Da	4,69	Ca
IM	3,04	Dd	3,06	Dc	3,04	Dc	2,73	Cc
T	3,83	Cd	3,82	Cc	3,88	Cd	3,56	Cd
TN	4,20	Cb	4,19	Cb	4,27	Cb	3,99	Cb
TP	4,84	Ba	4,63	Da	5,05	Ca	4,76	Ba
TM	3,88	Cc	3,86	Cc	4,09	Cc	3,86	Bc
C.V. (%)	0,33		0,34		0,58		0,61	

*Herbicidas Fomesafem + fluazifope-P-butilico (F), linuron (L), imazapique (I) e tembotriona (T) e os fertilizantes foliares NK-C (N), NPK (P) e NK-Mic (M). Médias da mesma letra maiúscula (entre herbicidas) e minúscula (entre fertilizante foliar) não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Em relação aos resultados das avaliações de condutividade elétrica (Tabela 3), o herbicida isolado fomesafem + fluazifope-P-butilico, nos 4 horários de avaliações, apresentou o maior valor, com diferença dos herbicidas (I, L e T). A mistura de todos os herbicidas e fertilizantes foliares incrementaram a C.E. O fertilizante foliar NPK, com alto teor de fosforo, teve o maior efeito na condutividade elétrica aproximando-se do valor de $3000 \mu\text{S cm}^{-1}$, sendo diferente dos outros tratamentos em todas as avaliações.

Tabela 3: Avaliação da condutividade elétrica nos horários de 0, 2,6 e 24 horas após preparo (HAP).

Trat.	HAP ($\mu\text{S cm}^{-1}$)							
	0		2		6		24	
F	149,25	Ad	130,35	Ac	121,13	Ad	138,33	Ad
FN	455,25	Ab	445,53	Ab	436,58	Ac	475,88	Ac
FP	2900,50	Ca	2882,75	Ca	2915,75	Ca	3090,25	Ba
FM	438,23	Ac	445,50	Ab	649,85	Ab	661,28	Ab
L	84,36	Cd	89,80	Cd	77,72	Cd	73,94	Cd
LN	388,58	Bb	402,20	Bb	395,78	Bc	450,73	Cc
LP	1703,00	Da	2526,00	Da	2957,00	Ba	3178,75	Aa
LM	168,35	Dc	391,23	Cc	556,43	Cb	638,38	Bb
I	96,68	Bd	102,93	Bd	106,35	Bd	106,23	Bd
IN	386,63	Bc	391,78	Cc	400,18	Bc	463,08	Bc
IP	3162,75	Aa	3075,00	Ba	3178,75	Aa	3174,50	Aa
IM	432,38	Bb	433,53	Bb	563,68	Bb	570,13	Cb
T	53,92	Dd	55,76	Dd	41,74	Dd	42,85	Dd
TN	375,78	Cc	387,15	Cb	196,55	Cc	366,95	Dc
TP	3092,25	Ba	3083,75	Aa	2863,00	Da	3050,75	Ca
TM	391,18	Cb	193,75	Dc	515,70	Db	549,65	Db
C.V. (%)	0,23		0,29		0,29		0,32	

*Herbicidas Fomesafen + fluazifope-P-butílico (F), linuron (L), imazapique (I) e tembotriona (T) e os fertilizantes foliares NK-C (N), NPK (P) e NK-Mic (M). Médias da mesma letra maiúscula (entre herbicidas) e minúscula (entre fertilizante foliar) não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Na caracterização física, das misturas de herbicidas e fertilizantes foliares (Tabela 4), houve compatibilidade física nas caldas fitossanitárias desses produtos. Na avaliação das misturas realizadas aos 0, 2, 6 e 24 horas após preparo (HAP), os tratamentos com os herbicidas linuron, imazapique e tembotriona, isolados e em mistura com os fertilizantes foliares, apresentaram sedimentação dos produtos, com exceção dos tratamentos IN e IM aos 0 HAP. No caso do herbicida fomesafen + fluazifop-P-butílico, isolado e em mistura com fertilizantes foliares, houve formação de espuma, na avaliação aos 0 HAP.

O herbicida linuron, em mistura com fertilizantes foliares, apresentaram separação de fases nos horários 2, 6 e 24 HAP. Por outro lado, o herbicida tembotriona, isolado e em mistura, apresentaram formação de creme nos horários 2 e 6 HAP, com exceção do tratamento TM aos 2 HAP. Além disso, esse herbicida apresentou separação de fases nos horários de avaliação 6 e 24 HAP.

Os tratamentos que apresentaram sedimentação, nos 4 horários de avaliação, conseguiram dispersar-se após agitação das caldas fitossanitárias. Além disso, a formação de creme e separação fases foram capazes de formar uma solução homogênea após agitação em esses tratamentos avaliados.

Tabela 4: Características físicas das misturas de herbicidas e fertilizantes foliares avaliadas nos horários de 0, 2, 6 e 24 horas após preparo (HAP).

Trat.	Horários de avaliação (h)																			
	0					2					6					24				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
F																				
FN																				
FP																				
FM																				
L																				
LN																				
LP																				
LM																				
I																				
IN																				
IP																				
IM																				
T																				
TN																				
TP																				
TM																				

*Sedimentação (A), separação de fases (B), espuma (C) e formação de grumo (D) e creme (E). Herbicidas Fomesafem + fluazifope-P-butílico (F), linuron (L), imazapique (I) e tembotriona (T) e os fertilizantes foliares NK-C (N), NPK (P) e NK-Mic (M).

Nas avaliações da viscosidade (Figura 1), o tratamento com tembotriona (T) apresentou maior valor ($1,01 \text{ mPa s}^{-1}$), diferindo dos outros herbicidas isolados (F, L e I). Quando da adição de fertilizantes foliares, aos herbicidas fomesafem + fluazifope-P-butílico e imazapique, houve aumento dos valores de viscosidade, com diferença aos tratamentos sem mistura. Do modo oposto, para o herbicida tembotriona, a mistura com fertilizantes foliares, reduziu a viscosidade, diferindo do tratamento isolado (T). Cabe ressaltar que, o herbicida linuron em mistura com os fertilizantes foliares NK-C e NPK aumentaram a viscosidade em $0,97$ e $1,02 \text{ mPa s}^{-1}$, respectivamente, obtendo diferença dos tratamentos L e LM.

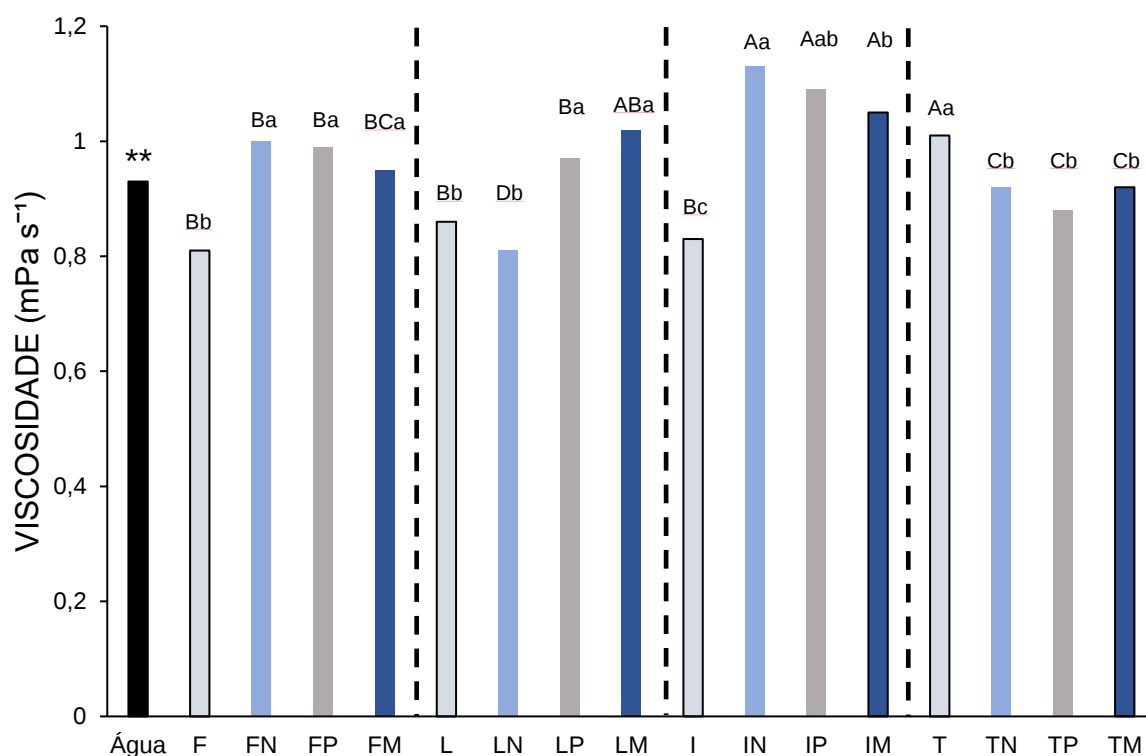


Figura 1: Viscosidade das misturas de herbicidas e fertilizantes foliares (C.V.=4,09%).
 ** F (Água vs fatorial) = 8,02. Médias com a mesma letra maiúscula (entre herbicidas F, L, I e T) ou minúscula (entre fertilizantes foliares N, P e M) não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Para as avaliações de tamanho de gotas (Tabela 5), o diâmetro das gotas de água, comparado com o fatorial diferiu nas avaliações de $D_{(V, 0.1)}$, $D_{(V, 0.5)}$ e $D_{(V, 0.9)}$. O diâmetro da mediana volumétrica (DMV) do herbicida fomesafem + fluazifope-P-butílico (Tabela 5), comparado entre herbicidas e o $D_{(V, 0.1-0.5-0.9)}$, apresentou menor tamanho de gota sendo diferente dos outros tratamentos com exceção do tratamento com tembotriona (T). De forma geral, a mistura dos herbicidas com fertilizantes foliares mostraram uma tendência de incrementar o DMV das gotas.

Tabela 5: Avaliação do diâmetro mediano volumétrico (DMV).

Trat.	DMV (μm)		
	0,1	0,5	0,9
Água	104,92 ** B	274,96 ** B	581,91 ** B
F	107,74 Ba	270,04 Bab	595,24 Ca
FN	107,56 Ba	269,68 Cab	590,26 Ca
FP	102,65 Ba	254,83 Bb	581,81 Ba
FM	107,35 Ca	274,58 Ca	591,23 Ba
L	114,19 ABa	302,55 Ab	638,81 Bb
LN	117,81 Aa	327,05 Aa	681,40 Aa
LP	119,11 Aa	320,55 Aa	680,60 Aa
LM	117,36 ABa	328,48 Aa	679,57 Aa
I	115,85 Aa	310,04 Aab	666,88 Aa
IN	115,94 Aa	319,34 ABab	663,45 ABa
IP	113,40 Aa	304,22 Ab	665,64 Aa
IM	120,75 Aa	323,75 Aa	677,99 Aa
T	113,84 ABa	306,35 Aa	651,17 ABa
TN	107,62 Ba	302,75 Ba	654,82 Ba
TP	112,28 Aa	314,00 Aa	663,92 Aa
TM	111,79 BCa	306,76 Ba	661,59 Aa
C.V. (%)	3,31	2,99	2,11

*Herbicidas Fomesafem + fluazifope-P-butílico (F), linuron (L), imazapique (I) e tembotriona (T) e os fertilizantes foliares NK-C (N), NPK (P) e NK-Mic (M). Médias da mesma letra maiúscula (entre herbicidas) e minúscula (entre fertilizante foliar) não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Outra característica importante das misturas de produtos fitossanitários é a porcentagem de volume com gotas menores de 100 μm , pois são aquelas com maior risco de deriva (Figura 2). O herbicida isolado fomesafem + fluazifop-P-butílico apresentou o maior valor porcentagem (8,34%) e foi diferente dos tratamentos com linuron (7,41), imazapique (7,07) e tembotriona (7,4%). No caso das misturas com fertilizante foliar, o tratamento FP (fomesafem + fluazifop-P-butílico e NPK) apresentou diferenças dos outros tratamentos FN e FM. No grupo do herbicida imazapique, os tratamentos IP (7,47%) e IM (6,33%), a primeira mistura com NPK e a segunda com NK-Mic., apresentaram diferença. Por último, o tratamento TN (tembotriona + NK-C) foi diferente do tratamento tembotriona isolado (T).

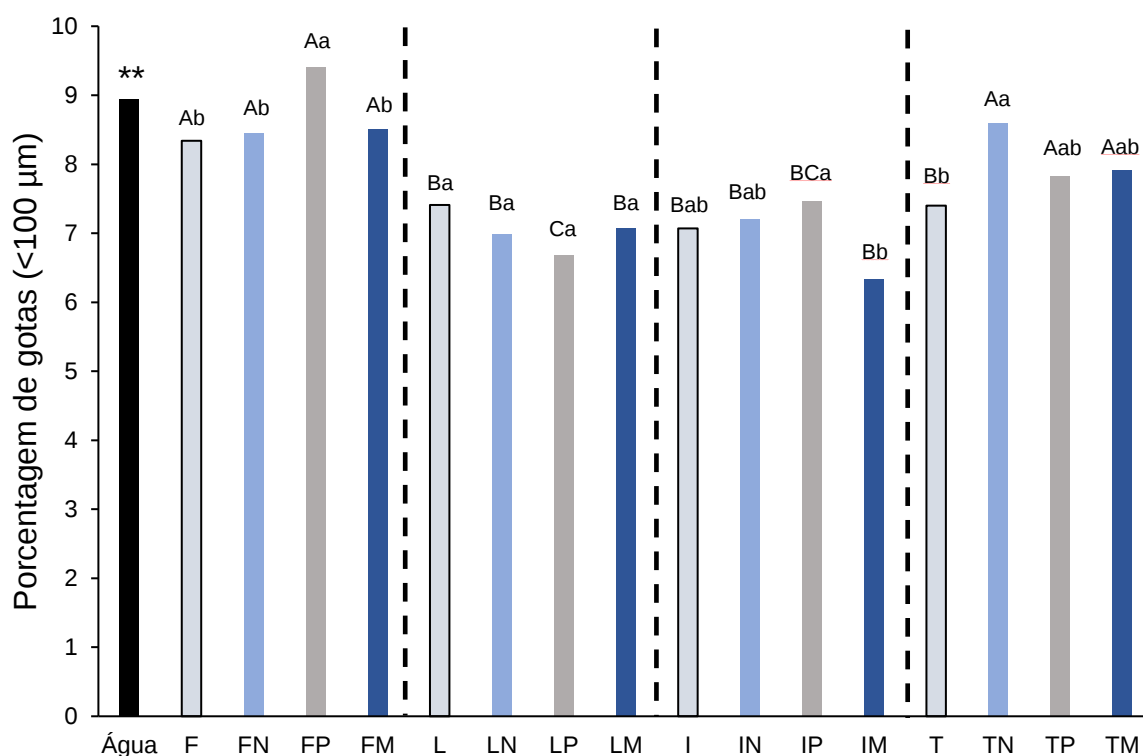


Figura 2: Porcentagem de gotas menores de 100 μm (C.V.=7,52%). ** F (Água vs fatorial) = 18,00. Médias com a mesma letra maiúscula (entre herbicidas F, L, I e T) ou minúscula (entre fertilizantes foliares N, P e M) não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

As avaliações da tensão superficial foram realizadas em 5 momentos que correspondem aos 5, 10, 20, 40 e 60 segundos após a formação das gotas (AFG) (Tabela 6). A tensão superficial (TS) da água comparada ao fatorial nesses momentos foi diferente. No caso do herbicida imazapique, isolado e em mistura, apresentaram a TS no intervalo de 67,93 e 79,63 mN m^{-1} , sendo diferente dos outros tratamentos. Por outro lado, os tratamentos com o herbicida fomesafem + fluazifop-P-butílico, isolado e em mistura, diferiu dos demais tratamentos, apresentando valores menores no intervalo de 31,18 (FP) a 33,17 mN m^{-1} (F) correspondentes aos 5 e 10 s AFG.

A adição de fertilizantes foliares aos tratamentos apresentaram comportamento variável aos herbicidas (Tabela 5). O herbicida imazapique isolado e em mistura (I, IN, IP e IM) apresentaram as maiores tensões superficiais sendo diferente entre si e dos outros tratamentos. De forma geral, os herbicidas linuron e imazapique, em mistura

com fertilizantes foliares resultaram em padrão crescente em todas as avaliações. Os tratamentos isolados e em mistura (L, LN, LP e LM) diferiram entre si.

Tabela 6: Avaliação da Tensão superficial pelo método de gota pendente aos 5, 10, 20, 40 e 60 segundos após formação da gota (SAFG).

Trat.	SAFG (mN m ⁻¹)				
	5	10	20	40	60
Água	72,43 ** A	72,62 ** A	73,03 ** A	72,35 ** A	71,74 ** A
F	33,17 Ca	33,01 Da	32,86 Da	32,75 Da	32,66 Da
FN	32,16 Db	32,21 Dab	32,13 Dab	32,29 Dab	32,15 Dab
FP	31,32 Db	31,18 Db	31,33 Db	31,32 Db	31,22 Db
FM	31,79 Db	31,80 Db	31,86 Dab	31,81 Dab	31,87 Dab
L	62,22 Bd	57,48 Cd	52,45 Cd	48,55 Cd	46,48 Cd
LN	64,72 Bc	62,35 Bc	59,41 Bc	56,06 Bc	54,64 Bc
LP	68,06 Bb	66,40 Bb	64,46 Bb	61,82 Bb	59,92 Bb
LM	72,61 Ba	71,50 Ba	70,07 Ba	68,22 Ba	66,64 Ba
I	74,53 Ac	74,23 Ac	73,33 Ac	70,86 Ac	68,43 Ac
IN	74,27 Ac	73,87 Ac	72,51 Ac	69,99 Ac	67,93 Ac
IP	79,26 Aa	79,63 Aa	79,25 Aa	78,95 Aa	78,99 Aa
IM	77,72 Ab	77,75 Ab	77,72 Ab	76,84 Ab	76,50 Ab
T	61,91 Ba	59,18 Ba	56,02 Ba	52,57 Bb	51,04 Bb
TN	58,60 Cc	54,93 Cb	51,80 Cb	49,26 Cc	47,91 Cc
TP	61,86 Cab	59,59 Ca	56,75 Ca	53,40 Cab	51,31 Cab
TM	61,14 Cb	58,98 Ca	56,00 Ca	53,94 Ca	52,44 Ca
C.V. (%)	0,85	1,05	1,07	1,11	1,32

*Herbicidas Fomesafem + fluazifope-P-butilico (F), linuron (L), imazapique (I) e tembotriona (T) e os fertilizantes foliares NK-C (N), NPK (P) e NK-Mic (M). Médias da mesma letra maiúscula (entre herbicidas) e minúscula (entre fertilizante foliar) não diferem entre si, pelo teste de Tukey (p<0,05).

Da avaliação do ângulo de contato (AC), verifica-se para o herbicida imazapique o maior valor, com média de 103,15°, diferindo dos outros herbicidas isolados F, L e T, que apresentaram valores de 54,47, 94,43 e 97,34°, respectivamente (Tabela 7). Na maioria das avaliações houve estabilidade nas leituras do AC aos 10 segundos. A adição dos fertilizantes foliares nos herbicidas linuron e imazapique mostraram um padrão de incremento do AC. O oposto foi verificado aos herbicidas fomesafem + fluazifop-P-butilico (FN e FM) e tembotriona (TN, TP e TM) que apresentaram redução do AC com exceção do tratamento FP que aumento o AC e diferiu das outras misturas com esse herbicida. No herbicida tembotriona, a mistura com NK-C, diferiu dos outros tratamentos em esse grupo.

Tabela 7: Avaliação do ângulo de contato pelo método de gota séssil aos 5, 10, 20, 40 e 60 segundos após contato com a lâmina de filme parafínico (SAC).

Trat.	SAC (°)				
	5	10	20	40	60
Água	116,45 ** A	116,06 ** A	115,35 ** A	114,98 ** A	113,95 ** A
F	60,46 Cb	56,49 Cb	53,55 Db	51,61 Db	50,24 Dab
FN	59,49 Cbc	55,39 Cbc	51,65 Cbc	49,74 Dbc	49,07 Db
FP	64,92 Ca	62,20 Da	58,82 Da	54,47 Da	52,14 Da
FM	57,12 Cc	53,61 Cc	50,00 Cc	48,40 Dc	48,02 Db
L	99,30 Bb	98,08 Bb	94,92 Cb	91,36 Cc	88,49 Cc
LN	106,15Aa	104,58Aa	103,46Aa	100,37Bb	98,84 Bb
LP	104,28Aa	103,16Ba	102,37Ba	100,95Bab	99,95 Bab
LM	105,70Aa	105,31Aa	104,49Aa	103,18Ba	102,25Ba
I	103,97Aa	103,85Aa	103,48Ab	102,77Ab	101,69Ab
IN	106,13Aa	105,66Aab	105,50Aab	103,71Aab	102,42Ab
IP	105,98Aa	106,09Aab	106,12Aa	105,58Aa	105,62Aa
IM	106,19Aa	106,39Aa	106,08Aa	106,04Aa	105,66Aa
T	100,53Ba	99,62 Ba	98,29 Ba	94,90 Ba	93,35 Ba
TN	91,59 Bc	90,04 Bc	87,35 Bc	84,19 Cc	82,63 Cc
TP	97,63 Bb	96,75 Cb	95,43 Cb	92,33 Cb	90,28 Cb
TM	97,35 Bb	96,02 Bb	94,67 Bb	91,43 Cb	90,04 Cb
C.V. (%)	1,63	1,33	1,52	1,52	1,71

*Herbicidas Fomesafem + fluazifope-P-butílico (F), linuron (L), imazapique (I) e tembotriona (T) e os fertilizantes foliares NK-C (N), NPK (P) e NK-Mic (M). Médias da mesma letra maiúscula (entre herbicidas) e minúscula (entre fertilizante foliar) não diferem entre si, pelo teste de Tukey (p<0,05).

4. DISCUSSÃO

As misturas de produtos fitossanitários podem alterar as características das caldas fitossanitárias formando aglomerados, precipitados ou separação de fases (Fishel, 2020). A separação de fase foi observada nos tratamentos com linuron (SC) e tembotrione (SC) após 6 horas do preparo das caldas, tanto os herbicidas isolados como em mistura. Essa alteração nas caldas pode-se associar às formulações de concentrados em suspensão (SC) que apresentaram aqueles herbicidas (Whitford et al., 2018).

A maioria dos tratamentos apresentaram sedimentação, espuma e quanto maior o tempo após o preparo das avaliações, houve separação de fases que, após agitação, tornou a dispersar-se por completo. Portanto, a incompatibilidade física não foi verificada para os tratamentos. Segundo Whitford et al. (2018), a incompatibilidade

física pode-se apresentar quando se formam géis ou aglomerados sólidos após misturas dos produtos nas caldas.

Outra característica importante das misturas é referente ao pH das caldas. Algumas misturas podem apresentar incompatibilidade física gerando dissociação dos ingredientes podendo ser corrigido alterando o pH das caldas (ABNT, 2014). Quando o pH das misturas fica alcalino, há propensão a ocorrer hidrólise alcalina reduzindo a meia vida dos herbicidas (Fishel e Ferrell, 2019). Neste experimento, o herbicida fomesafem + fluazifope-P-butílico isolado apresentou pH de 10, considerado bastante alcalino, mas na mistura com os fertilizantes foliares, NK-C, NPK e NK-Mic., os valores diminuíram para menos de 7 de pH. O pH da maioria das misturas neste experimento ficou na faixa ideal entre 3 e 5 de pH para caldas com herbicidas (Cunha et al., 2017).

A condutividade elétrica indica a concentração de íons nas caldas afetada pela composição dos produtos fitossanitários e o solvente utilizado (Zandonadi et al., 2018). A condutividade elétrica das caldas avaliadas apresentou incremento em todos os tratamentos, tendo maior efeito o fertilizante foliar NKP que tem 45% de P_2O_5 . Mas, esse fertilizante foliar teve o melhor efeito na redução do pH das caldas fitossanitárias podendo ser utilizados com essa finalidade, para reduzir a degradação dos produtos fitossanitários por hidrólise alcalina (Fishel e Ferrell, 2019). Porém, o pH e a condutividade elétrica podem ser alterados pela mistura de produtos fitossanitários (Rheinheimer e Souza, 2000).

A avaliação da viscosidade dos herbicidas fomesafem + fluazifope-P-butílico e linuron, isolados e em mistura com fertilizantes foliares, resultaram similares, aumentando o valor da viscosidade com exceção da mistura do linuron e o fertilizante foliar NK-C. No caso de pulverização de caldas com altos valores de viscosidade precisa de maior energia na formação das gotas gerando gotas com maior diâmetro, o que pode diminuir o potencial de deriva (Machado et al., 2019).

A tensão superficial e o ângulo de contato foram maiores para as misturas de linuron e imazapique com fertilizantes foliares. A maioria das misturas dos herbicidas fomesafem + fluazifope-P-butílico e tembotriona apresentaram redução da tensão superficial, que pode resultar em maior espalhamento das gotas. Para tembotriona em mistura com fosfatidilcolina + ácido propiônico observou-se redução da tensão

superficial para $34,85 \text{ mN m}^{-1}$ (Cunha et al., 2017). Esses dados relatados apresentam quase o 50% de redução dos valores da tensão superficial determinados neste experimento.

Em relação ao tamanho de gotas das misturas de herbicidas e fertilizantes foliares, houve aumento dos diâmetros avaliados. O tamanho das gotas afeta o risco de deriva por vento e evaporação podendo causar irregularidades nas pulverizações com possíveis riscos ambientais (Preftakes et al., 2019). Além disso, as misturas do linuron e imazapique, isolados e com fertilizante foliar, e herbicida tembotriona isolado apresentaram menor porcentagem de gotas menores de $100 \mu\text{m}$. Almeida et al. (2020) relataram que doses crescentes do glifosato podem incrementar o potencial de deriva das caldas pelo incremento da porcentagem de gotas $<100 \mu\text{m}$. Isso concorda com a adição de fertilizantes foliares, para os herbicidas fomesafen + fluazifope-P-butílico e tembotriona, que aumentaram as gotas $<100 \mu\text{m}$. Por último, o volume das $D(v, 0.1)$ está associado ao volume de deriva das pulverizações (Chen et al., 2020; Duarte et al., 2023).

5. CONCLUSÕES

As misturas de fertilizantes foliares com herbicidas na maioria dos tratamentos, o pH das caldas diminuíram e no caso da condutividade elétrica mostrou incrementos tendo maior efeito o fertilizante foliar NPK. Em relação ao tamanho das gotas as misturas apresentaram a tendência de incremento do DMV das gotas. Por último, os valores de tensão superficial e ângulo de contacto mostraram alterações que vão depender de cada herbicidas e fertilizante foliar utilizado. Mas, todas as misturas apresentaram compatibilidade físico-químico.

6. REFERENCIAS

ABNT (1997) NBR 13074: **Agrotóxicos - Preparação de água-padrão para ensaios**. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT (2010) NBR NM ISO 3310-1: **Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação**. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT (2014) NBR 13875: Agrotóxico - **Avaliação de compatibilidade físico-química**. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Almeida DP, Ferreira MC, Santos RTS, Griesang F, Santos ES, Timossi PC (2020) Influence of glyphosate concentrations on spray solution physicochemical characteristics and drift potential. **Engenharia Agrícola** 40(1):69–77.

Calore RA, Ferreira MC, Rodrigues NEL, Otuka AK (2015) Distribution pattern, surface tension and contact angle of herbicides associated to adjuvants on spraying and control of Ipomoea hederifolia under rainfall incidence. **Engenharia Agrícola** 35(4):756–768.

Chen S, Lan Y, Zhou Z, Ouyang F, Wang G, Huang X, Deng X, Cheng S (2020) Effect of Droplet Size Parameters on Droplet Deposition and Drift of Aerial Spraying by Using Plant Protection UAV. **Agronomy** 10(2):195.

Cunha JPAR, Alves GS, Marques RS (2017) Tensão superficial, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica de caldas de produtos fitossanitários e adjuvantes. **Revista Ciência Agronômica** 48(2):261–270.

Della Vechia JF, Ferreira MC, Andrade DJ (2018) Interaction of spiroticlofen with insecticides for the control of Brevipalpus yothersi in citrus. **Pest Management Science** 74(11):2438–2443.

Duarte A, Neto R, Antunes N, Ribeiro A, Angelo FSO, Faria GA, Pereira EP, Souza L, André S, Ulguim R (2023) Droplet spectrum characteristics and drift potential of different droplet classes and spray volumes application of atrazine with nicosulfuron. **Ciência Rural** 53(12):e20220509.

Duke SO (2018) Interaction of Chemical Pesticides and Their Formulation Ingredients with Microbes Associated with Plants and Plant Pests. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 66(29):7553–7561.

Fishel FM (2020) **Tank-Mixing Pesticides without Disasters: PI285, 3/2020**. *EDIS, 2020(2 SE-UF/IFAS Pesticide Information Office)*.

Fishel FM, Ferrell JA (2019) **Water pH and the Effectiveness of Pesticides**. *US Department of Agriculture. University of Florida IFAS*.

Gazziero D (2015) Misturas de agrotóxicos em tanque nas propriedades agrícolas do Brasil. **Planta Daninha** 33(1):83–92.

Lúcia Costa L, Lúcia Costa Â, Carneiro G, Dias Vaz De Souza A, Almeida P, Da M, Ferreira C. (2017). Caracterização da aplicação com diferentes inseticidas e pontas de pulverização na cultura da soja. **Revista Engenharia Na Agricultura** 25(2):116–123.

Machado WA, Silva SM, Carvalho SM, Cunha JPAR (2019) Effect of nozzles, application rates, and adjuvants on spray deposition in wheat crops. **Engenharia Agrícola** 39(1):83–88.

Melo AA, Hunsche M, Guedes JVC, Hahn L, Feltrin NM (2019) Study of the effects of adjuvants associated with insecticides on the physicochemical properties of the spray solution and characterization of deposits on wheat and maize leaves under simulated rain. **Engenharia Agrícola** 39(3):315–322.

Preftakes CJ, Schleier JJ, Kruger GR, Weaver DK, Peterson RKD (2019) Effect of insecticide formulation and adjuvant combination on agricultural spray drift. **PeerJ** 6:e7136.

Rakes M, Grützmacher AD, Pazini JB, Pasini RA, Schaedler CE (2018) Physicochemical Compatibility of Agrochemical Mixtures in Spray Tanks for Paddy Field Rice Crops. **Planta Daninha** 35.

Rheinheimer DS, Souza RO (2000) Condutividade elétrica e acidificação de águas usadas na aplicação de herbicidas no Rio Grande do Sul. **Ciência Rural** 30(1):97–104.

Rotenberg Y, Boruvka L, Neumann AW (1983) Determination of surface tension and contact angle from the shapes of axisymmetric fluid interfaces. **Journal of Colloid and Interface Science** 93(1):169–183.

Whitford F, Patton A, Johnson B, Olds M, Cloyd RA, Young BG, Linscott D, Deveau J, Reiss J, Smith KL, Overlay T (2018) **Avoid tank mixing errors. A guide to applying the principles of compatibility and mixing sequence.**

Zandonadi CHS, Burkhardt J, Hunsche M, Cunha JPAR (2018) Tank-mix of chlorantraniliprole and manganese foliar fertilizers: Impact on rheological characteristics, deposit properties and cuticular penetration. **Crop Protection** 106:50–57.

CAPÍTULO 3 – INTERAÇÃO DA MISTURA DE HERBICIDAS COM FERTILIZANTES FOLIARES NO CONTROLE DE *Urochloa decumbens* E *Amaranthus hybridus*

INTERAÇÃO DA MISTURA DE HERBICIDAS E FERTILIZANTES FOLIARES NO CONTROLE DE *Urochloa decumbens* E *Amaranthus hybridus*

Resumo

Urochloa decumbens e *Amaranthus hybridus* reduzem a produtividade das culturas. Geralmente o controle é realizado com herbicidas, que podem ter o efeito ampliado por fertilizantes foliares que contêm sais higroscópicos capazes de reduzir a umidade relativa de deliquescência (DRH) e formar filmes de água na superfície das folhas, incrementando a penetração no tecido vegetal. Objetivou-se determinar o controle de *U. decumbens* e *A. hybridus* pela interação entre herbicidas e fertilizantes foliares. Os experimentos foram conduzidos em delineamento de blocos ao acaso em esquema fatorial (4x4 + testemunha), constituído pelo fator 1 herbicidas (fomesafem + fluazifope-P-butílico, linuron, imazapique e tembotriona) e fator 2 fertilizantes foliares (NK-COT, NPK, NK-B-Fe-Mn-S-Zn-COT e sem adição). Para o processamento de dados considerou-se os testes de Shapiro-Wilk (normalidade), Oneill-Matheus (homogeneidade de variância) e Fisher (ANOVA). As médias foram comparadas pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). Houve efeito na tensão superficial, ângulo de contato e tamanho de gotas, onde as misturas de fomesafem + fluazifope-P-butílico diferiu dos demais tratamentos. Os fertilizantes foliares adicionados aos herbicidas melhoraram as características de pH e condutividade elétrica das caldas fitossanitárias, sem interferir no controle das plantas daninhas.

Palavras-chaves: plantas daninhas, caruru-roxo, capim-braquiária, tensão superficial, ângulo de contato, mistura de tanque.

INTERACTION OF THE MIXTURE OF HERBICIDES AND FOLIAR FERTILIZERS IN THE CONTROL OF *Urochloa decumbens* AND *Amaranthus hybridus*

Abstract

Urochloa decumbens and *Amaranthus hybridus* reduce crop yields. Generally, control is carried out with herbicides, which can have their effect amplified by foliar fertilizers containing hygroscopic salts capable of reducing the relative humidity of deliquescence (RHD) and forming water films on the surface of the leaves, increasing penetration into the plant tissue. The aim was to determine the control of *U. decumbens* and *A. hybridus* by the interaction between herbicides and foliar fertilizers. The experiments were conducted in a randomized block design in a factorial scheme (4x4 + control), consisting of factor 1 herbicides (fomesafem + fluazifop-P-butyl, linuron, imazapyc and tembotrione) and factor 2 foliar fertilizers (NK-COT, NPK, NK-B-Fe-Mn-S-Zn-COT and no addition). The Shapiro-Wilk (normality), Oneill-Matheus (homogeneity of variance) and Fisher (ANOVA) tests were used to process the data. The means were compared using the Duncan test ($p < 0.05$). There was an effect on surface tension, contact angle and droplet size, where the mixtures of fomesafem + fluazifop-P-butyl differed from the other treatments. The foliar fertilizers added to the herbicides improved the pH and electrical conductivity characteristics of the phytosanitary syrups, without interfering with weed control.

Keywords: Keywords: weeds, purple loosestrife, brachiaria grass, surface tension, contact angle, tank mix.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas duas décadas, o uso de herbicidas aumentou, sendo um dos fatores influenciadores o alto custo de mão de obra no controle manual das plantas daninhas (Malone e Foster, 2019). A mistura em tanque de produtos fitossanitários reduz o número de aplicações, entrada das máquinas ao campo, consumo de combustível, uso de água e horas gastas (Gandini et al., 2020). Tudo isso leva a uma menor compactação de solos, melhora o desenvolvimento do sistema radicular das culturas e, o mais importante, evita o contato prolongado dos agrotóxicos com os trabalhadores (Gazziero, 2015). As misturas de pesticidas podem sofrer interações aditivas, sinérgicas e antagônicas (Ikeda, 2014). As misturas podem apresentar incompatibilidades que alteram o pH e condutividade elétrica (Andrade et al., 2013). Esta ação também pode formar sedimentação, espuma, grumos e separação de fases (Petter et al., 2013).

A mistura de fertilizantes foliares nitrogenados com herbicidas pode aumentar o efeito dos herbicidas por estímulo fisiológico, incremento de absorção ou alterações no pH das soluções (Carvalho, 2013). Por outro lado, a fertilização foliar fornece nutrientes nos estágios de maior demanda das culturas e a aplicação em mistura com herbicida reduz os efeitos de fitotoxicidade (Brankov et al., 2020). Além disso, os fertilizantes reduzem o pH das caldas fitossanitárias podendo ser utilizados para aproximar-se ao intervalo recomendado entre 4 e 7 devido a que as misturas podem apresentar menor risco de sofrer hidrólise alcalina (Fishel e Ferrell, 2019).

As plantas daninhas *Amaranthus hybridus* e *Urochloa decumbens* são consideradas de difícil controle. A primeira por ter longo intervalo de germinação, elevada produção de sementes viáveis e rápido crescimento (Horak, 2000). A segunda, tem alta capacidade adaptativa e efeitos alopatícos em soja, arroz, milho, algodão, trigo e eucalipto (Souza et al., 2006).

Amaranthus hybridus e *U. decumbens* são controlados por herbicidas seletivos, de diferentes modos de ação, como fomesafem, fluazifope-P-butílico, linuron, imazapique e tembotriona. Particularmente, tembotriona interrompe a biossíntese de carotenóides, inibindo a 4-hidroxifenilpiruvato desidrogenase (HPPD)

(Pinke et al., 2014). O imazapique inibe a acetolactato sintase (ALS) (Webster et al., 2017). O linuron inibe o fotossistema II (HRAC, 2023) e inibindo a produção de moléculas armazenadoras de energia, como, adenosina trifosfato (ATP) e nicotinamida adenina nucleotídeo fosfato (NADPH) (Husu et al., 2013). O fluazifope-P-butílico butil inibe a acetylCoA carboxilase (ACCase) (Negre et al., 1988). O fomesafem inibe protoporfirinogênio oxidase (PPOs) (HRAC, 2023).

Apesar que o controle químico de plantas daninhas reduzir os teores de proteínas e aminoácidos (Radhakrishnan et al., 2018; El-Sobki et al., 2021); a mistura de herbicidas com fertilizantes foliares aumenta o teor de proteína, sendo maior quando são aplicados em mistura que de forma isolada, relatado na cultura de trigo (Delchev et al., 2015). Além disso, a adição de fertilizante foliar nitrogenado e regulador vegetal aos herbicidas podem melhorar a produtividade e reduzir o tempo de recuperação da fitotoxicidade das culturas, sem afetar o controle das plantas daninhas (Cosmo Dranca et al., 2018).

A mistura de produtos fitossanitários pode reduzir os efeitos para a saúde do trabalhador, perdas do produto e riscos ecológicos ao ambiente (Vale et al., 2019). A mistura de produtos fitossanitários e fertilizantes foliares resulta em diversos efeitos nas caldas fitossanitárias. Por isso, objetivou-se avaliar o efeito nas caldas fitossanitárias e determinar o controle de *U. decumbens* e *A. hybridus* decorrente da interação entre herbicidas e fertilizantes foliares.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram instalados em estufa em condições semicontroladas nos meses de maio a agosto e de setembro a dezembro do 2022, onde a umidade relativa, temperatura e precipitação foram de 60,65%, 20,35°C, 17,12 mm e 66,12%, 23,45°C, 150,62 mm, respectivamente. O local dos experimentos estava localizado a 21°14'23"S e 48°17'20"W a uma altitude de 598 m, o clima predominante, segundo a classificação de Koppen, é o Cwa, mesotérmico de inverno seco. Os experimentos foram conduzidos em delineamento em blocos ao acaso em esquema fatorial 4x4 com 4 repetições, sendo os herbicidas Fusiflex® (F: fomesafem 125 g L⁻¹ + fluazifope-P-

butílico 125 g L⁻¹), Afalon® (L: linuron 450 g L⁻¹), Plateau® (I: imazapique 700 g kg⁻¹) e Soberan® (T: tembotriona 420 g L⁻¹) e os fertilizantes foliares Aminom® (N: N-K-CO:11-1-6%), Raizal® (P: N-P-K: 9-45-11%) e Biozyme® (M: N-K-B-Fe-Mn-S-Zn-CO:1-5-0,08-0,4-1-2-3-5%) e uma testemunha (Tabela 1).

Tabela 1: Herbicidas e fertilizantes foliares utilizados para controle de *A. hybridus* e *U. decumbens*.

TRAT.	FATOR 1	FATOR 2	DOSAGEM (p.c. ha ⁻¹)
F	Fomesafem + fluazifope-P- butílico	Sem	2,0 L
FN		NK-C	2,0 L + 0,8 L
FP		NPK	2,0 L + 1,0 kg
FM		NK-Mic.	2,0 L + 0,25 L
L	Linuron	Sem	1,6 L
LN		NK-C	1,6 L + 0,8 L
LP		NPK	1,6 L + 1,0 kg
LM		NK-Mic.	1,6 L + 0,25 L
I	Imazapique	Sem	0,14 kg
IN		NK-C	0,14 kg + 0,8 L
IP		NPK	0,14 kg + 1,0 kg
IM		NK-Mic.	0,14 kg + 0,25 L
T	Tembotriona	Sem	0,24 L
TN		NK-C	0,24 L + 0,8 L
TP		NPK	0,24 L + 1,0 kg
TM		NK-Mic.	0,24 L + 0,25 L
TS	Testemunha		

*Herbicidas Fomesafem + fluazifope-P-butílico (**F**), linuron (**L**), imazapique (**I**) e tembotriona (**T**) e os fertilizantes foliares NK-C (**N**), NPK (**P**) e NK-Mic. (**M**).

A semeadura de *A. hybridus* e *U. decumbens* foi realizada em bandejas de poliestireno expandido até formar a primeira folha verdadeira. As mudas foram tiradas e transplantadas 5 em cada vaso (1,5 L), contendo como substrato a mistura de terra, areia e esterco de curral na proporção 3:1:1 (v/v/v), respectivamente. As irrigações

foram realizadas duas vezes por dia no 1º experimento e no 2º experimento vindo a necessidade das plantas, até aos 28 dias após aplicação dos tratamentos.

As avaliações de condutividade elétrica e pH foram realizadas com um condutivímetro de bancada (Marte®, MP11P) e por um peagâmetro de bancada (Quimis®, Q400RS), respectivamente. As misturas dos tratamentos foram preparadas em provetas de 250 mL com 4 repetições, tendo como solvente água da red de abastecimento com pH e condutividade elétrica de 7,46 e 157,47 $\mu\text{S cm}^{-1}$; essas soluções também foram utilizadas para as avaliações de tensão superficial e ângulo de contato.

As avaliações de tensão superficial e ângulo de contato foram realizadas utilizando um tensiômetro automático OCA-15Plus (Dataphysics Germany) equipado com câmera digital de alta velocidade e o software SCA20®. Neste equipamento, a tensão superficial e ângulo de contato foram determinadas pelo método da gota pendente e gota séssil em uma lâmina de filme parafínico (Parafilm®), respectivamente. As imagens foram capturadas em sequência durante um minuto, permitindo a visualização da imagem pelo computador. As imagens foram analisadas instantaneamente por assimetria de eixos (Rotenberg et al., 1983).

Os diâmetros das gotas produzidas foram determinados por um analisador de tamanho de partícula Mastersizer S (Malvern Panalytical Ltd., Malvern, Reino Unido), versão 2.19. Neste equipamento a unidade óptica determina o diâmetro das gotas dentro do espectro pulverizado, através do método de difração a laser (Calore et al., 2015). Para isso foi utilizado uma ponta de pulverização (Magnojet®, ST-05) para cada tratamento e 4 repetições das caldas preparadas em garrafas PET de 2 L. A pressão da pulverização foi mantida constantemente em 340 kPa por ar comprimido. O diâmetro das gotas (μm) foi medido e representado pelos valores de $DV_{0,1}$, $DV_{0,5}$ e $DV_{0,9}$, que representa 10, 50 e 90% do volume pulverizada. Além disso, foi determinado o coeficiente de uniformidade das gotas (SPAN) para cada tratamento.

Para as avaliações da cobertura das caldas foram utilizados papeis hidrosensíveis (26 mm x 76 mm, WSPAPER®) os quais foram colocadas de forma similar à disposição foliar de cada espécie, para depois ser escaneados e processadas pelo software Gotas®. Para o deposito das caldas foi utilizado como

marcador o sal de manganês, para a extração foi colocado as folhas de *A. hybridus* e *U. decumbens* em sacolas de plástico e foi adicionado 0,2N de HCl (50 mL) mantidos por 1 hora em repouso. As soluções das extrações foram colocadas em potes de plásticos de 100 mL para realizar as leituras das concentrações com o espectrofotômetro de absorção atômica (Thermo Cientific®, iCE 3000 Series) e a área foliar das duas espécies foram mensurados com o equipamento LI-COR Biosciences® (LI-3100C Area Meter). Essas avaliações apenas foram realizadas para o 2º experimento.

A aplicação dos tratamentos foi realizada quando *U. decumbens* e *A. hybridus* tinham 4 perfilhos e 4 folhas verdadeiras, respectivamente. As caldas, com volume de aplicação de 200 L ha⁻¹, foram aplicadas com um quadriciclo motorizado com uma barra de pulverização acoplada, provida de 4 bicos com pontas de pulverização modelo ST-05 (130°) com vazão de 2,14 L min⁻¹ espaçadas a 0,5 m. A calda foi pressurizada com 340 kPa, constantemente por cilindro de CO₂. As condições ambientais de temperatura, umidade relativa e velocidade do ar, no 1º e 2º experimento, registraram 22,43° - 55,84% - 1,98 m s⁻¹ e 23,92° - 79,00% - 1,99, respectivamente.

As avaliações de controle foram realizadas por meio de observações visuais em escalas de injúria realizadas aos 7, 14, 21 e 28 dias após a pulverização (DAP), foram atribuídas notas de 0 a 100 para o controle das plantas daninhas, sendo que as notas com valor igual a 0 significam plantas com aspecto similar à testemunha sem injúria pelo herbicida e notas com valor igual a 100 referem-se às plantas com controle total. As notas de avaliações dos tratamentos tiveram como base do Modelo de Escala Conceitual da Weed Science Society of America (2002).

Após 28 dias da aplicação (DAA), as plantas daninhas foram tiradas dos vasos. Avaliou-se matéria seca da parte aérea de cada planta mediante secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até manter a massa constante da matéria seca; depois foi pesada em balança digital (A&D GF-1000, A&D Company Ltd, Adelaide, Austrália), com precisão de 0,1 gramas, para obtenção do peso.

Os dados foram submetidos a uma análise de normalidade, homoscedasticidade e variância (ANOVA) pelo teste Shapiro-Wilk, O'Neill-Mathews e Fisher. As médias das interações dos fatores (herbicida e fertilizante foliar) foram comparadas utilizando o teste de Duncan ($p < 0,05$); todas as análises foram realizadas pelo software RStudio (versão 4.3.1).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ângulo de contato da água ($116,06^\circ$) teve diferença com o fatorial ($92,98^\circ$) (Figura 1). O herbicida imazapique ($115,10^\circ$) mostrou maiores valores de ângulo de contato, seguido do tembotriona ($101,54^\circ$), sendo diferente dos outros herbicidas, e os valores mais baixos foram observados na mistura de herbicida fomesafem + fluazifope-P-butilico ($58,97^\circ$).

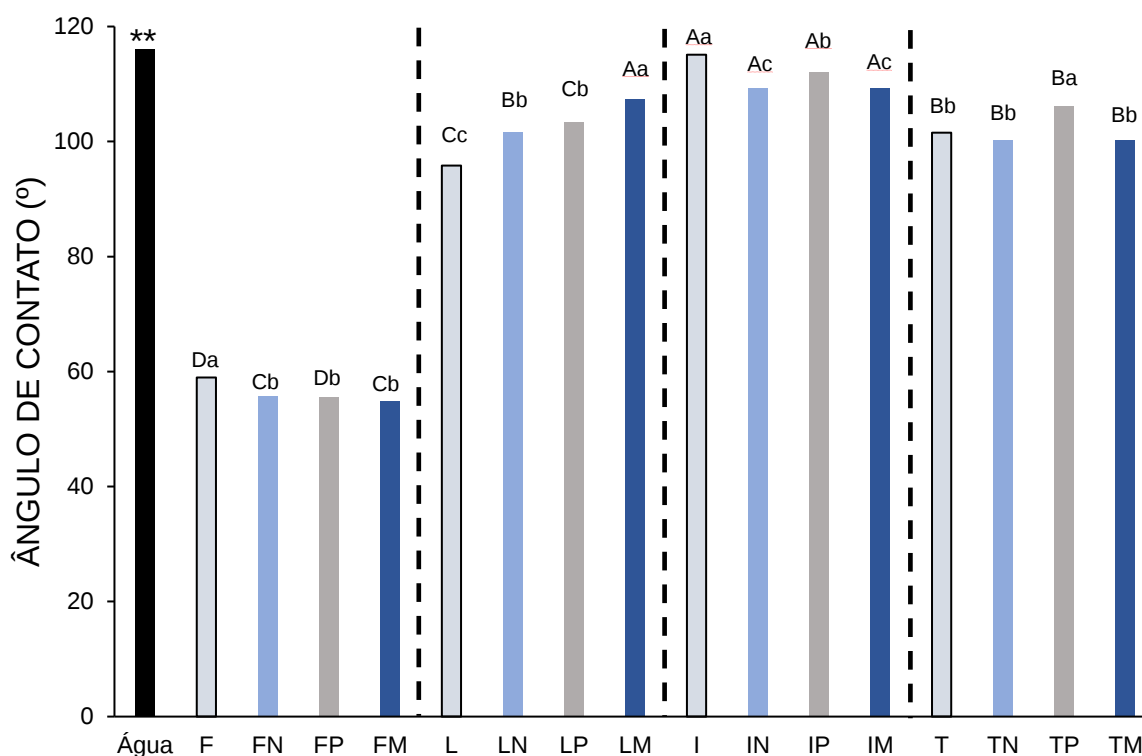


Figura 1. Ângulo de contato ($^\circ$) da mistura de herbicidas e fertilizantes foliares. ** F (Água vs fatorial) = 3041,4. C.V. = 1,82%. As médias com a mesma letra maiúscula (entre herbicidas F, L, I e T) ou minúscula (entre fertilizantes foliares N, P e M) não diferem entre si, pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

O fertilizante foliar fosforados (NPK) aumentou o ângulo de contato em mistura com o herbicida linuron (107,46°) e tembotriona (106,25°), respectivamente, e houve diferença com os tratamentos linuron (95,82°) e tembotriona (101,54°) isolados. Já nos herbicidas fomesafem + fluazifope-P-butilico (FN) e imazapique (IN), o fertilizante foliar nitrogenado diminuiu o ângulo de contato a 55,65° e 109,27°, respectivamente; sendo diferentes dos tratamentos isolados (Figura 1).

Na análise de tensão superficial da água (72,43 mN m⁻¹) comparando ao fatorial (55,22 mN m⁻¹), houve diferença (Figura 2). Também foi possível observar diferença entre os herbicidas linuron e imazapique isolados com as misturas com fertilizantes foliares. O herbicida fomesafem + fluazifope-P-butilico apresentou a menor tensão (32 mN m⁻¹), enquanto o maior valor de tensão superficial, foi apresentado pelo herbicida imazapique (74 mN m⁻¹), seguido do linuron (58 mN m⁻¹); sendo diferentes entre si.

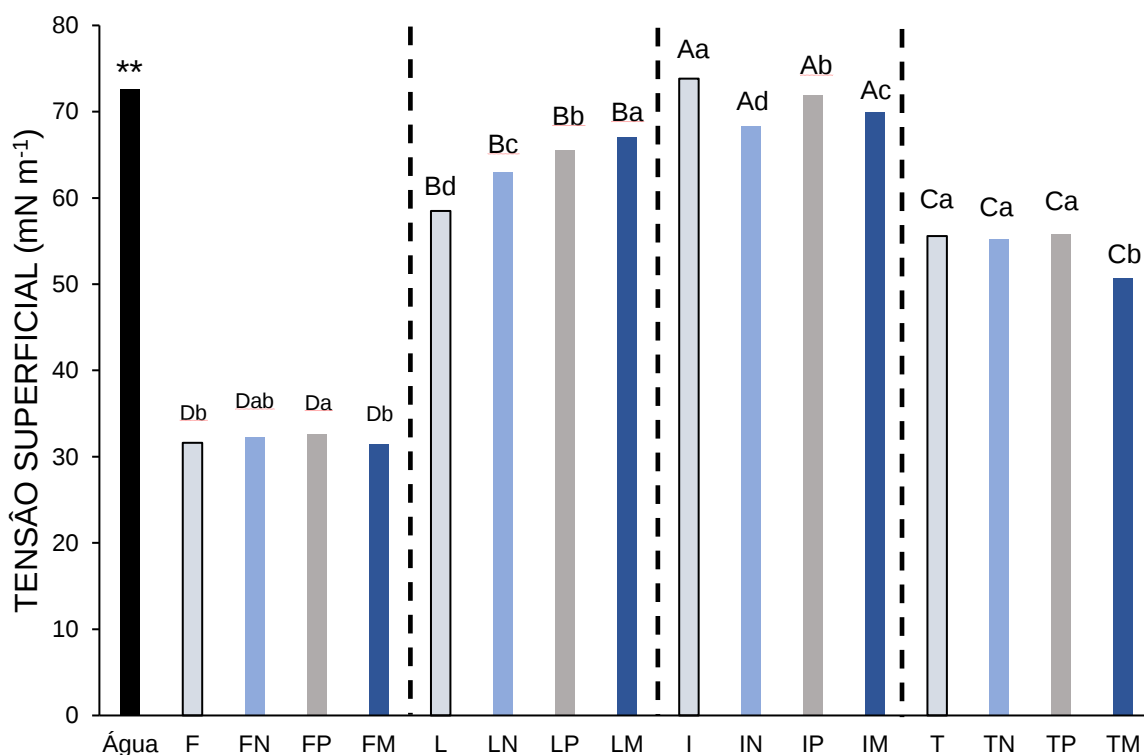


Figura 2. Tensão superficial (mN m⁻¹) da mistura de herbicidas e fertilizantes foliares.

** F (Água vs fatorial) = 3041,4. C.V. = 1,08%. As médias com a mesma letra maiúscula (entre herbicidas F, L, I e T) ou minúscula (entre fertilizantes foliares N, P e M) não diferem entre si, pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

Quanto aos fertilizantes foliares nitrogenado (N), fosforado (P) e com micronutrientes (M), em mistura com o herbicida linuron, aumentaram a tensão superficial em 63, 66 e 67 mN m⁻¹, respectivamente; sendo diferentes entre si. Os fertilizantes foliares nitrogenado e com micronutrientes em mistura com o herbicida imazapique reduziram a tensão a 68 e 70 mN m⁻¹, respectivamente, sendo diferente do tratamento isolado (Figura 2).

A tensão superficial e o ângulo de contato das caldas fitossanitárias permitem estimar os efeitos de espalhamento e possível interação com a penetração dos produtos fitossanitários. A mistura de agrotóxicos pode reduzir a tensão superficial, favorecendo a adesão das caldas à superfície foliar (Cunha et al., 2017). Nas avaliações dos tratamentos com os herbicidas fomesafem + fluazifope-P-butilico, com fertilizantes (FN-FP-FM) ou isolado (F), apresentaram os valores mais baixos de tensão superficial e ângulo de contato; o que favorece a adesão das caldas com a cutícula das folhas por ter componentes lipofílicos e hidrofílicos (Fernández et al., 2017).

Via de regra, a redução da tensão superficial aumenta o espalhamento, com possível aumento da penetração dos agrotóxicos (Salvalaggio et al., 2018). Esses valores indicam maior área de cobertura das folhas pelas gotas, podendo melhorar a penetração dos produtos através das células da epiderme (Carvalho, 2013). Os valores menores de ângulo de contato melhoram a distribuição de gotas e a cobertura do alvo (Meng et al., 2022). A adição de fertilizantes aos herbicidas resultou em diferença nas caldas dos herbicidas linuron (L-LN-LP-LM) e imazapique (I-IN-IP-IM); na primeira aumentou e a segunda reduziu os valores de ângulo de contato e tensão superficial. Outros autores relataram que a aplicação de elevadas quantidades de nitrato de manganês pode aumentar a tensão superficial e ângulo de contato, porém o sulfato de manganês só a tensão superficial (Zandonadi et al., 2018).

O herbicida imazapique (I) registrou o menor pH (4,79), seguido do tembotriona (T) (5,63); sendo significativos com os herbicidas fomesafem + fluazifope-P-butilico (F) e linuron (L) isolados, com valores de 7,48 e 7,40, respectivamente (Figura 3). O fertilizante foliar (NPK) reduziu o pH dos herbicidas fomesafem + fluazifope-P-butilico, linuron, sendo significativo com os demais tratamentos em cada grupo de esses

herbicidas; mas, na mistura com o herbicida imazapique (IP) aumentou o pH a 5,23, sendo significativo com os demais tratamentos dentro do grupo desse herbicida. Em geral, a adição de fertilizantes nos herbicidas reduziu o pH das caldas fitossanitárias.

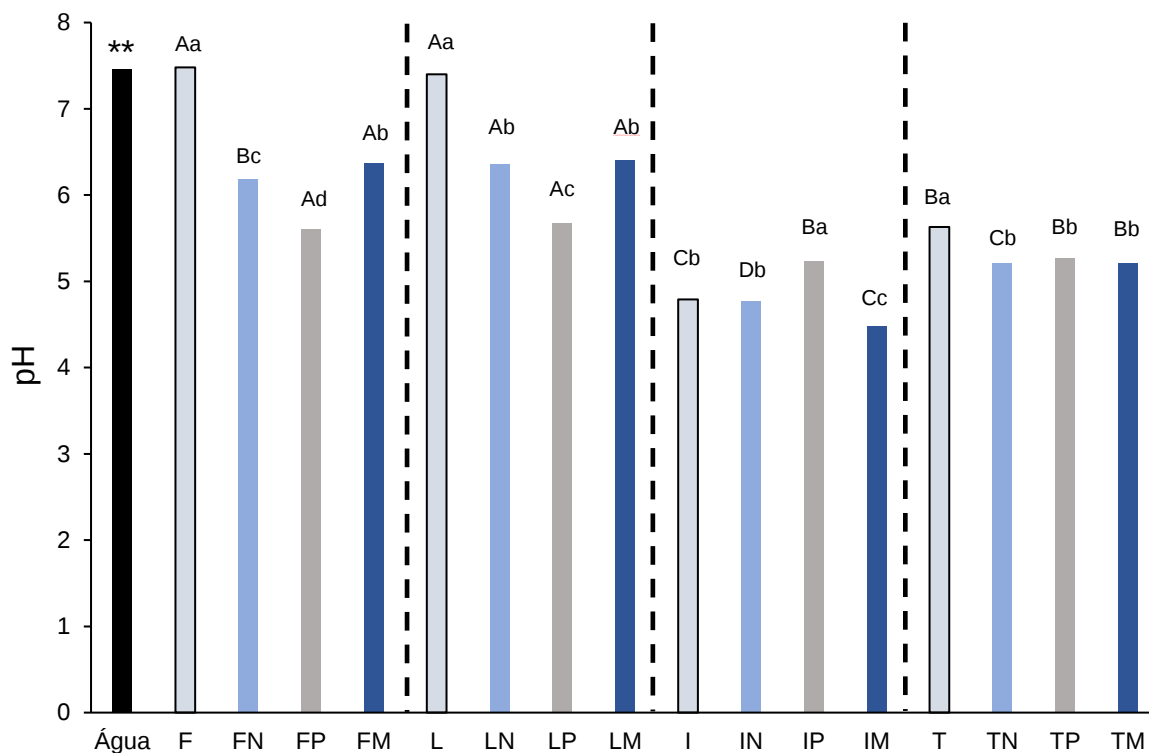


Figura 3. O pH da mistura de herbicidas e fertilizantes foliares. ** F (Água vs Fatorial) = 515037,25. C.V. = 1,02%. Médias da mesma letra maiúscula (entre herbicidas F, L, I e T) e minúscula (entre fertilizantes foliares N, P e M) não diferem entre si, pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

Os herbicidas fomesafem + fluazifope-P-butílico (F), sem adição de fertilizantes foliares, apresentou a maior condutividade elétrica ($2,11 \mu\text{S cm}^{-1}$), sendo significativo em relação aos outros herbicidas isolados (L, I e T) (Figura 4). Em todos os tratamentos, a adição de fertilizante foliar (NPK) aumentou a condutividade elétrica, e as misturas com os herbicidas linuron ($1762 \mu\text{S cm}^{-1}$) e imazapique ($1706 \mu\text{S cm}^{-1}$) foram diferentes dos demais tratamentos com essa mistura.

As misturas do herbicida fomesafem + fluazifope-P-butílico com os fertilizantes foliares (NK-C) e (NK-Mic.), correspondentes aos tratamentos FN e FM, apresentaram os maiores valores de condutividade elétrica de $628,4$ e $537,3 \mu\text{S cm}^{-1}$,

respectivamente, sendo diferentes com os demais tratamentos com essas misturas. Portanto, a mistura de herbicidas com fertilizante foliares aumentou a condutividade elétrica das caldas fitossanitárias.

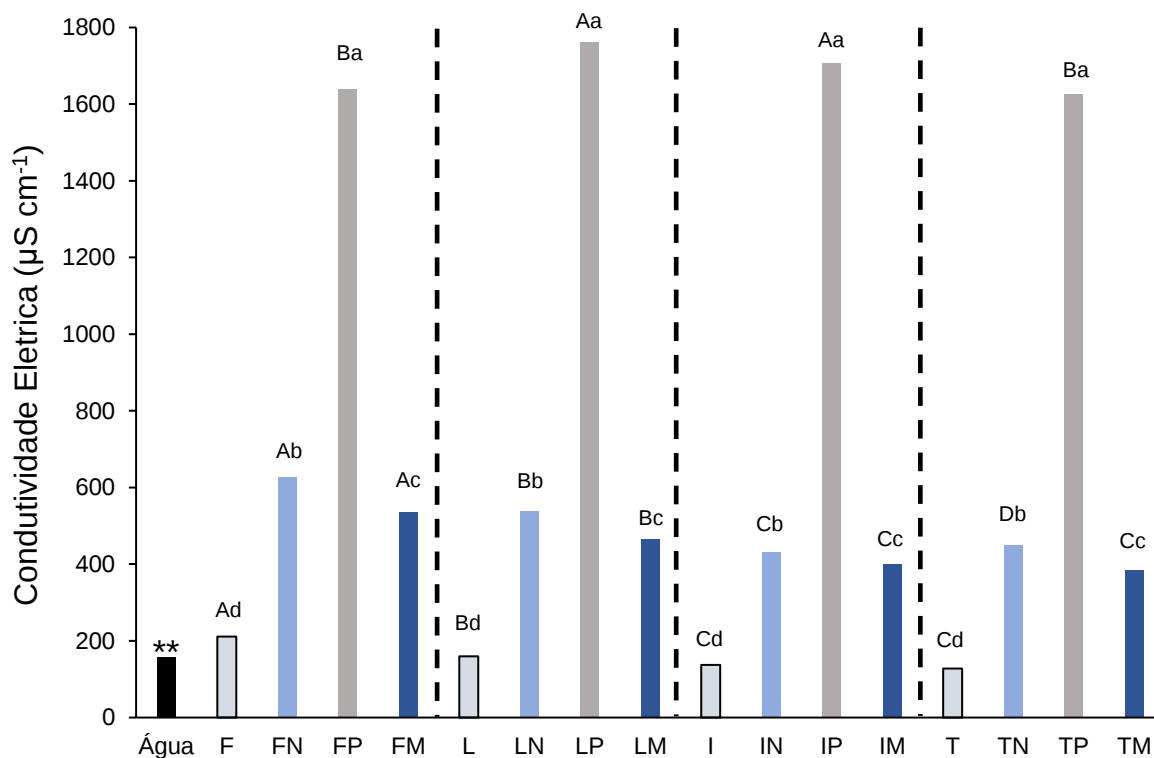


Figura 4. A condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) da mistura de herbicidas e fertilizantes foliares. ** F (Água vs Fatorial) = 515037,25. C.V. = 1,12%. Médias da mesma letra maiúscula (entre herbicidas F, L, I e M) e minúscula (entre fertilizantes foliares N, P e M) não diferem entre si, pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

Os herbicidas fomesafem + fluazifope-P-butílico, linuron, imazapique e tembotrina em mistura com os fertilizantes foliares reduziram a valores de pH entre 5,5 e 6,5 o qual é o intervalo ideal para as caldas fitossanitárias evitando a hidrólises alcalina nas misturas deixadas preparadas por longo tempo (Fishel e Ferrell, 2019). O pH tem efeito direto na constante de dissociação (pK_a) de herbicidas (Carvalho, 2013). Os herbicidas ácidos captam íons de hidrogênio da calda intensificando a lipofilicidade das moléculas, aumentando a penetração cuticular (Hartzler, 2023). Por outro lado, os fertilizantes foliares aumentaram a condutividade elétrica e o gradiente de concentração, aumentando a difusão no tecido vegetal. As misturas avaliadas

incrementaram a quantidade de íons das caldas, concordando com os resultados de outros experimentos, onde os produtos fitossanitários aumentaram a condutividade elétrica das caldas fitossanitárias (Cunha et al., 2017).

O herbicida fomesafem + fluazifope-P-butílico isolado (F) e com adição de fertilizante foliar (FN, FP e FM) resultou no menor tamanho de gota com 270,04, 269,68, 254,83 e 274,58 μm , respectivamente; sendo diferente dos outros tratamentos com exceção do tratamento TP (Figura 5). No caso dos tratamentos com linuron, a adição de fertilizantes foliares NK-C (LN), NPK (LP) e NK-Mic. (LM) aumentaram o tamanho de gotas a 327,05, 320,55 e 328,48 μm , respectivamente; sendo diferente ao herbicida isolado (L) com 302,55 μm . Nos outros tratamentos os fertilizantes foliares não causaram diferenças com os herbicidas isolados. Em geral, a adição de fertilizantes foliares aumentou o tamanho de gota das caldas fitossanitárias.

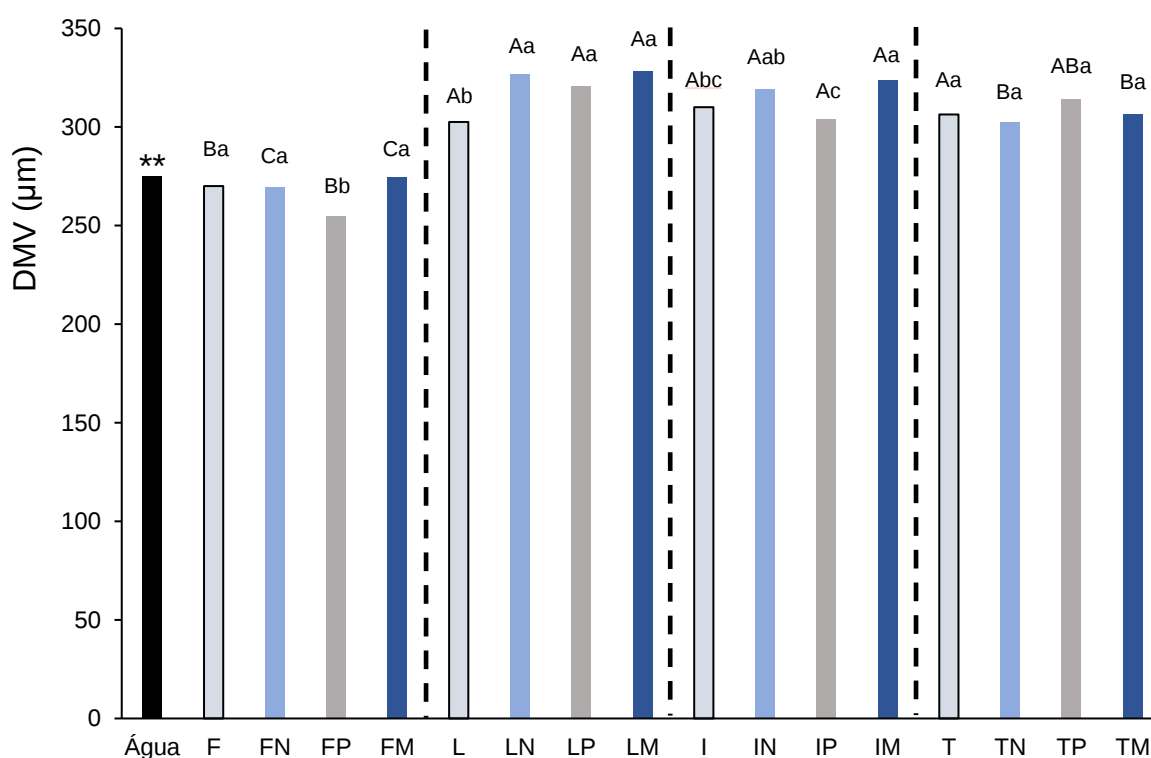


Figura 5. O diâmetro mediano volumétrico (DMV) da mistura de herbicidas e fertilizantes foliares, com C.V. de 2,99%. ** F (Água vs Fatorial) = 34,48. Médias da mesma letra maiúscula (entre herbicidas F, L, I e T) e minúscula (entre fertilizantes foliares N, P e M) não diferem entre si, pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

Para o coeficiente de uniformidade (SPAN) (Tabela 2), os tratamentos de herbicidas isolados (F, L, I e T) não apresentaram diferenças. No caso das misturas, o tratamento FP (1,88) apresentou diferença com os tratamentos LP (1,75) e TP (1,76). Além disso, as misturas de linuron com os fertilizantes foliares NK-C (LN: 1,73) e NK-Mic. (LM: 1,71) apresentaram diferenças, a primeira com o tratamento IN (1,71) e a segunda com TM (1,79). Por outro lado, a porcentagem de gotas (<100 µm) da água foi diferente aos herbicidas isolados e em mistura com os fertilizantes foliares (Tabela 2). No caso do herbicida fomesafem + fluazifope-P-butílico isolado (F) e em mistura com fertilizantes foliares (FN, FP e FM) apresentaram diferenças com os outros herbicidas e misturas.

Tabela 2: Porcentagem de gotas (<100 µm) e o coeficiente de uniformidade (SPAN).

Trat.	Porcentagem de gotas <100 µm)	SPAN
Água	8,94 **	1,77 n.s.
F	8,34 Ab	1,81 Ab
FN	8,45 Ab	1,79 Ab
FP	9,40 Aa	1,88 Aa
FM	8,51 Ab	1,76 ABb
L	7,41 Ba	1,73 Aa
LN	6,99 Ba	1,73 Ba
LP	6,68 Ca	1,75 Ca
LM	7,07 Ba	1,71 Ba
I	7,07 Bab	1,78 Aab
IN	7,20 Bab	1,71 Bc
IP	7,47 BCa	1,82 Ba
IM	6,33 Bb	1,72 Bbc
T	7,40 Bb	1,75 Aa
TN	8,59 Aa	1,81 Aa
TP	7,82 Aab	1,76 BCa
TM	7,91 Aab	1,79 Aa
C.V. (%)	7,52	2,36

*Herbicidas Fomesafem + fluazifope-P-butílico (F), linuron (L), imazapique (I) e tembotriona (T) e os fertilizantes foliares NK-C (N), NPK (P) e NK-Mic (M). Médias da mesma letra maiúscula (entre herbicidas) e minúscula (entre fertilizante foliar) não diferem entre si, pelo teste de Duncan (p<0,05).

O tamanho de gotas ficou no intervalo entre 254 e 328 µm, classificado como gotas de tamanho médio. Além disso, é considerado de risco médio por apresentar menor deriva (ASABE, 2009). Essas características concordam com a escolha do tipo de ponta utilizada em este experimento, já que todos os herbicidas eram sistêmicos,

com exceção do herbicida fomesafem. Para a aplicação de herbicidas, geralmente as gotas médias proporcionam boa cobertura com gotas maiores no terço superior e gotas finas no terço inferior; por outro lado, as gotas finas podem apresentar maior uniformidade de cobertura no dossel das plantas (Trogello e Faustino, 2019).

Em outros estudos, que avaliaram o efeito de tamanho de gotas, sinalam que a maior eficiência de depósito de caldas fitossanitárias com diâmetro de gotas de 140 µm. Além disso, também indicaram que com o aumento do tamanho de gotas a eficiência foi menor (Smith et al., 2000). Essas informações, sugerem que as gotas maiores a 250 µm podem haver afetado o efeito dos herbicidas neste experimento. Importante ressaltar que o tamanho de gota é inversamente proporcional ao potencial de deriva dos produtos fitossanitários (Griesang et al., 2017; Almeida et al., 2020).

As gotas menores de 100 µm são mais susceptíveis à evaporação e deriva no trajeto e podem não atingir ao alvo (Nuytens et al., 2017). Outros autores sinalam que para valores do SPAN inicial de 0,6; 0,84; 1,08 e 1,30, a deriva pode ser reduzida em 5,61; 11,14; 15,37 e 20,92%, respectivamente, promovido pela coalescência das gotas no momento da pulverização (Xue et al., 2021). Esses dados relatados foram menores dos reportados neste experimento, já que o intervalo de variação do SPAN e a porcentagem de gotas menores a 100 µm foram de 1,71-1,88 e 6,33-9,40%, respectivamente, sendo mais susceptíveis a perdas por evaporação.

Na análise de cobertura foliar, em *U. decumbens* e *A. hybridus*, houve cobertura menor que 50% (Tabela 3). O herbicida fomesafem + fluazifope-P-butílico, isolado e com misturas dos fertilizantes foliares, resultou em maior cobertura nas duas espécies, mas só obteve diferença com os outros tratamentos na segunda espécie. A adição dos fertilizantes foliares não resultou em diferença nos tratamentos nas duas espécies.

No caso de depósito foliar das caldas, *A. hybridus* apresentou mais do dobro de depósito em comparação com *U. decumbens* (Tabela 2). Para *A. hybridus*, os herbicidas isolados linuron (L) e imazapique (I), apresentaram o menor depósito, sendo diferente dos outros tratamentos (F) e (T); já no caso da mistura, linuron com fertilizantes foliares (LN, LP e LM), apresentaram o menor depósito e mostrando diferença com os outros tratamentos. Por outro lado, a adição de fertilizantes foliares,

nos herbicidas fomesafem + fluazifope-P-butilico, linuron e imazapique, aumentaram o depósito e foram diferentes dos tratamentos isolados (F, L e I) em cada grupo; mas no caso do herbicida tembotrione, com fertilizante foliar (NPK), aumentou o depósito e mostrou diferença com os tratamentos T, TN e TM.

Para *U. decumbens*, os herbicidas linuron (L) e tembotriona (T) isolados apresentaram maiores depósitos 0,61 e 0,63 $\mu\text{g cm}^{-2}$, respectivamente, os quais foram diferentes dos herbicidas fomesafem + fluazifope-P-butilico (F) e imazapique (I) (Tabela 3). Esses últimos herbicidas em mistura com os fertilizantes foliares apresentaram maiores depósitos, sendo diferente aos tratamentos isolados F e I. Por outro lado, a mistura do herbicida tembotriona com os fertilizantes foliares com micronutrientes TM apresentou o menor depósito 0,29 $\mu\text{g cm}^{-2}$, sendo diferentes dos outros tratamentos desse grupo.

Tabela 3: Porcentagem de cobertura e depósito foliar das aplicações em *Amaranthus hybridus* e *Urochloa decumbens*.

Trat.	<i>Amaranthus hybridus</i>		<i>Urochloa decumbens</i>	
	Cobertura (%)	Depósito ($\mu\text{g cm}^{-2}$)	Cobertura (%)	Depósito ($\mu\text{g cm}^{-2}$)
F	48,22 Aa	1,41 Ab	43,22 Aa	0,28 Bb
FN	50,93 Aa	1,72 Aa	40,28 Aa	0,71 Aa
FP	48,80 Aa	1,70 Ba	47,31 Aa	0,76 Aa
FM	50,17 Aa	1,60 Ca	44,81 Aa	0,78 Aa
L	35,84 Ba	1,25 Bb	31,61 Aa	0,61 Aa
LN	34,24 Ba	1,44 Ba	31,76 Aa	0,43 Bb
LP	33,37 Ba	1,38 Ca	29,24 Aa	0,51 Bb
LM	31,33 Ba	1,41 Da	31,18 Ba	0,44 Cb
I	31,23 Ba	1,26 Bc	28,54 Aa	0,31 Bb
IN	31,48 Ba	1,81 Ab	31,62 Aa	0,64 Aa
IP	30,54 Ba	1,98 Aa	27,71 Aa	0,56 Ba
IM	31,95 Ba	1,90 Aab	27,02 Ba	0,60 Ba
T	31,22 Ba	1,51 Ab	32,94 Aa	0,63 Aab
TN	32,67 Ba	1,80 Ab	37,73 Aa	0,66 Aa
TP	33,05 Ba	1,93 Aa	31,55 Aa	0,53 Bb
TM	31,05 Ba	1,74 Bb	28,75 Ba	0,29 Dc
C.V. (%)	10,53	5,31	11,22	13,73

*Herbicidas Fomesafem + fluazifope-P-butilico (F), linuron (L), imazapique (I) e tembotriona (T) e os fertilizantes foliares NK-C (N), NPK (P) e NK-Mic. (M). Médias da mesma letra maiúscula (entre herbicidas) e minúscula (entre fertilizante foliar) não diferem entre si, pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

As avaliações do controle em *U. decumbens* realizadas até os 21 dias após a aplicação (DAA) apresentaram um controle progressivo, com exceção do tratamento

com imazapique isolado e em mistura que mostrou aumento do controle até os 28 DAA (Figura 6). As avaliações do controle do herbicida fomesafem + fluazifope-P-butílico, aos 7 DAA, mostraram maior controle.

As plantas dos tratamentos com os herbicidas fomesafem + fluazifope-P-butílico, linuron e tembotriona, dos 21 aos 28 DAA, apresentaram o processo de recuperação, continuando o crescimento das plantas daninhas. Essa diminuição dos sintomas pode ser atribuída ao aumento da precipitação, da umidade relativa e da temperatura, registradas entre setembro e dezembro. Na avaliação final, o herbicida fomesafem + fluazifope-P-butílico resultou no melhor controle de *U. decumbens*.

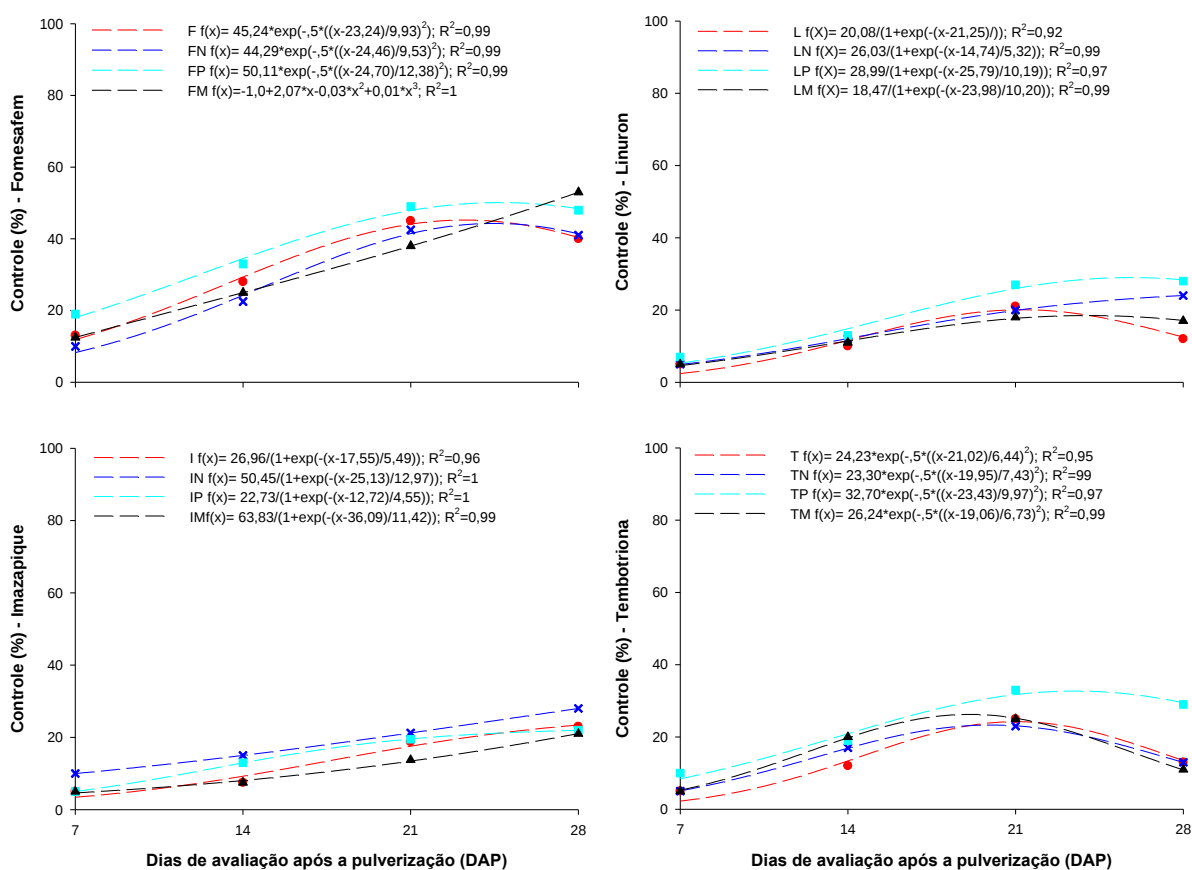


Figura 6: Avaliações da porcentagem de controle de *U. decumbens*, com os herbicidas fomesafem + fluazifope-P-butílico (F), linuron (L), imazapique (I) e Tembotriona (T) com os fertilizantes foliares (N, P e M) aos 7, 14, 21 e 28 DAA.

Nas avaliações do controle do *A. hybridus* (Figura 7), o herbicida de mistura pronta de fomesafem + fluazifope-P-butílico apresentou o menor controle. Observou-se que as plantas daninhas avaliadas aos 7 e 14 apresentam maior efeito de controle, mas apresentaram recuperação aos 28 DAA. Um dos fatores, que poderia ter afetado, é a característica do herbicida classificada de contato que apresentou maior efeitos nas primeiras semanas de avaliação. Por outro lado, o herbicida linuron chegou a 100% de controle nos tratamentos isolado e em mistura com os fertilizantes foliares. Os herbicidas linuron, imazapique e tembotriona apresentaram controle melhor, com redução da parte aérea maior que 60% com relação do herbicida fomesafem + fluazifope-P-butílico.

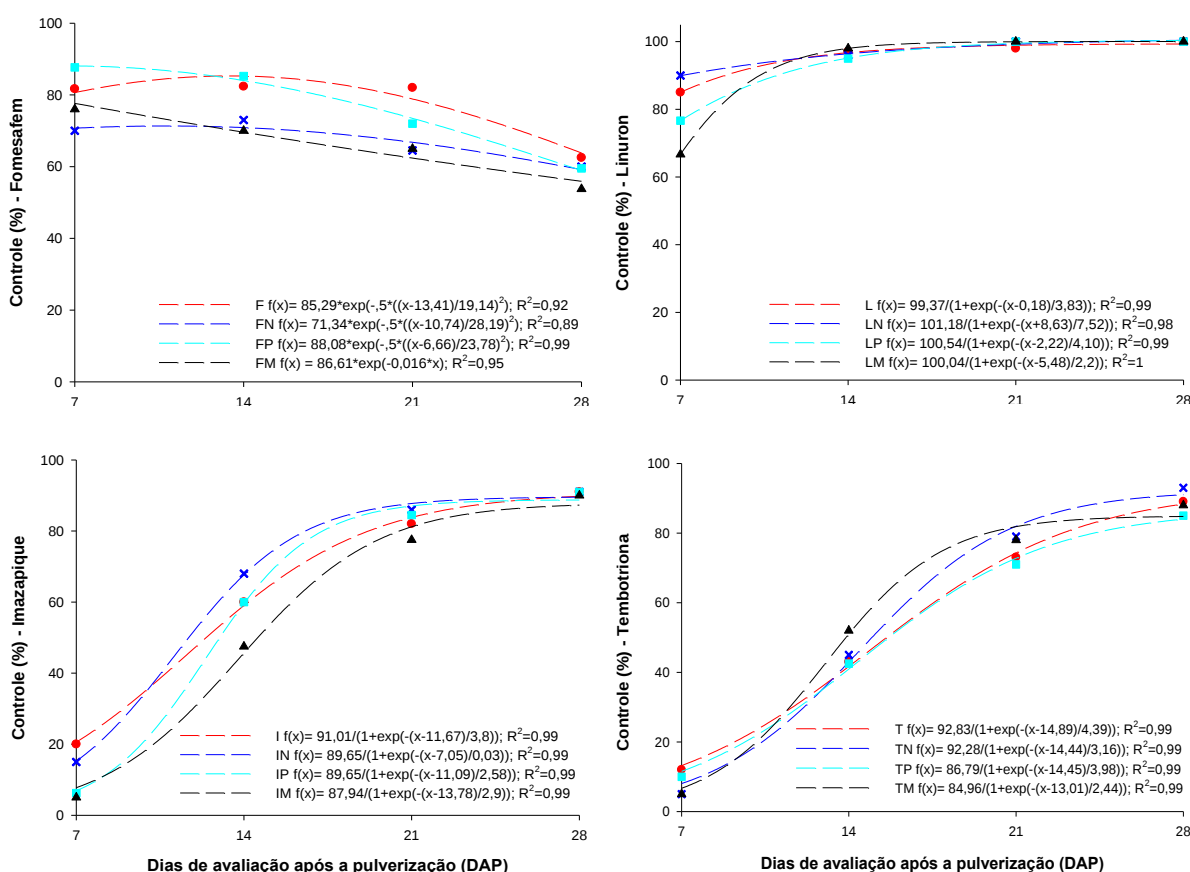


Figura 7: Avaliações da porcentagem de controle de *A. hybridus*, com os herbicidas fomesafem + fluazifope-P-butílico (F), linuron (L), imazapique (I) e Tembotriona (T) com os fertilizantes foliares (N, P e M) aos 7, 14, 21 e 28 DAA.

A característica das folhas teve efeito na cobertura e depósito das caldas, já que *U. decumbens* apresenta folhas com tricomas densamente distribuídos e *A. hybridus* tem folhas sem tricomas ou pouca pilosidade (Siqueira, 2002) e com 31,7 $\mu\text{g cm}^{-2}$ de cera (Monquero et al., 2004). A diferença do depósito e cobertura das caldas fitossanitárias nas espécies descritas é afetada pela natureza da cutícula foliar (Anderson, 1987; Ruiter et al., 1990). Mas a diferença no maior depósito com as misturas de herbicidas e fertilizantes foliares pode ser atribuída aos sais presentes na mistura, que pode diminuir a umidade relativa de deliquescência (DRH). Assim, se a umidade relativa é maior a DRH as soluções podem reidratar-se continuando a penetração da cutícula (Fernández et al., 2017).

O maior efeito de controle de *U. decumbens* ocorreu com o herbicida fomesafem + fluazifope-P-butilico (1,07 g), isolado e em mistura com os fertilizantes foliares, sendo diferente dos outros herbicidas (Figura 8(1°)). A adição de fertilizante foliares aos herbicidas fomesafem + fluazifope-P-butilico, linuron, imazapique e tembotriona não apresentou diferença com os tratamentos isolados F, L, I e T no primeiro experimento.

O maior efeito de controle, em *U. decumbens* (Figura 8(2°)), foi apresentado pelo herbicida fomesafem + fluazifope-P-butilico nos tratamentos F-FN-FP-FM com redução da matéria seca de 44,39; 45,77; 52,86 e 57,21%, respectivamente, com relação à testemunha e apresentou diferença com os demais tratamentos no segundo experimento. A adição do fertilizante foliar fosforado ao herbicida tembotriona (TP) apresentou maior redução da matéria seca (33,87%) comparando com a testemunha, diferindo dos tratamentos T, TN e TM.

O controle de *U. decumbens* foi principalmente pelo fluazifope-P-butilico, sendo um graminicida sistêmico exclusivo para plantas daninhas de folha estreita (Carvalho, 2013). Além disso, a menor tensão superficial e ângulo de contato nesse herbicida favoreceu o espalhamento e penetração do herbicida (Cunha et al., 2017; Salvalaggio et al., 2018). Sobiech et al. (2020) verificaram que a redução da tensão superficial e o ângulo de contato aumentou o controle da planta daninha *Echinochloa crus-galli*. As misturas com fertilizantes foliares podem aumentar o nível de controle dos herbicidas.

Na avaliação do controle de *A. hybridus*, o herbicida linuron apresentou o maior controle, isolado e em mistura com fertilizantes foliares, reduzindo a matéria seca em 100%, sendo diferente dos outros tratamentos no segundo experimento (Figura 9(2°)). O herbicida imazapique, com e sem fertilizante foliar, apresentou o segundo maior controle, que em média reduziu em 80% da matéria seca da planta daninha. No caso do herbicida fomesafem + fluazifope-P-butílico, nos tratamentos F, FN, FP e FM, ocorreu o menor controle desta espécie com redução de matéria seca de 50%, sendo diferente dos demais tratamentos, exceto do tratamento (TP).

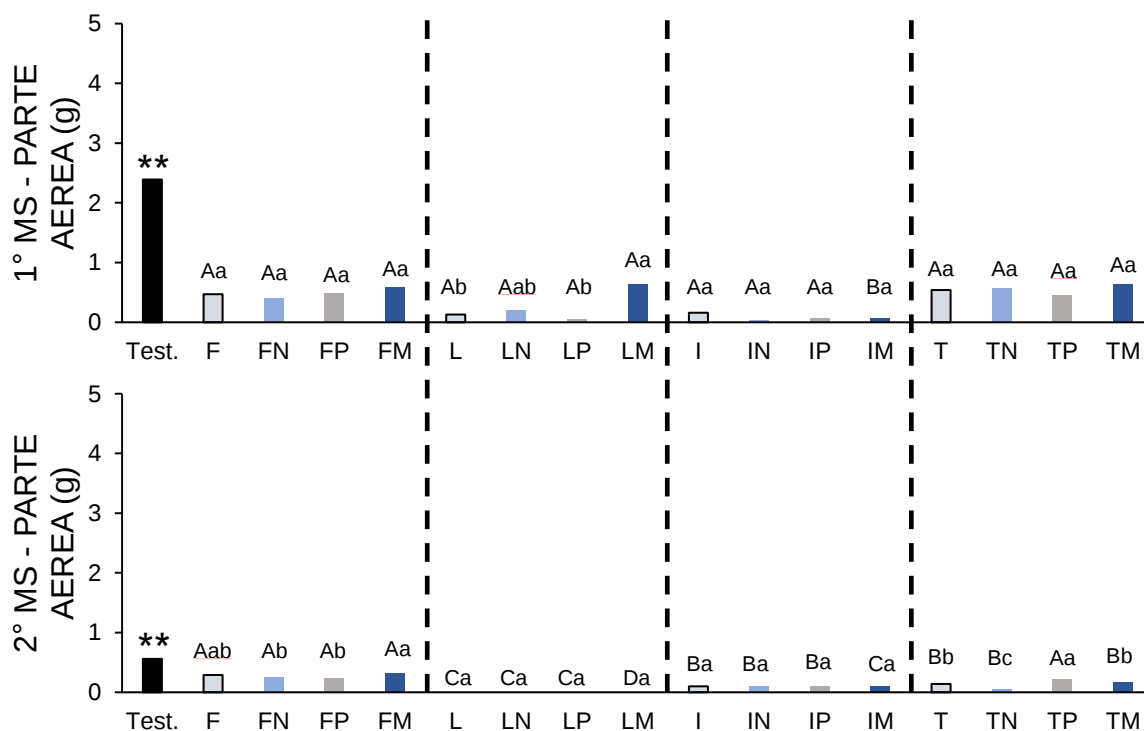


Figura 9. Matéria seca (g) de *A. hybridus* (C.V.: 1° = 16,69 - 2° = 22,39%) aos 28 DAA.

** Diferença do tratamento adicional (Test.) e o fatorial. Médias da mesma letra maiúscula (entre herbicidas F, L, I e T) e minúscula (entre fertilizantes foliares N, P e M) não diferem entre si, pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

Os tratamentos com fomesafem + fluazifope-P-butílico obtiveram o menor controle e maior recuperação dos efeitos de *A. hybridus*. Resultados similares foram relatados aos 21 dias de avaliação, do herbicida fomesafem em *Bidens pilosa*, com

50% de controle (Junior et al., 2015). Outras misturas de clorimuron e mesotriona com cletodim e fertilizantes foliar também mostraram controle eficiente das plantas daninhas (Costa et al., 2020). A mistura de lodosulfuron + amidosulfuron + mefenpir-dietil com sal de potássio de ácidos húmicos também reduziu as plantas daninhas em 23,6% em comparação ao herbicida aplicado de forma isolada (Korotkova et al., 2021). Em geral, todos os tratamentos aplicados aumentaram os efeitos dos herbicidas quando a umidade relativa aumentou de 55 a 79% no momento da aplicação, concordando com outros investigadores que sinalam fazer aplicações com uma umidade relativa maior a 60% (Contiero et al., 2018).

4. CONCLUSÕES

A adição de fertilizante foliar aos herbicidas fomesafem + fluazifope-P-butílico, linuron, imazapique e tembotriona melhorou as características de pH e a condutividade elétrica das caldas fitossanitárias. As misturas de fertilizantes foliares e herbicidas não interferiram no controle das plantas daninhas; no caso dos herbicidas fomesafem + fluazifope-P-butílico e linuron, isolados e em mistura, proporcionaram melhor controle de *U. decumbens* e *A. hybridus*, respectivamente.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (CAPES), Brasil.

5. REFERÊNCIAS

Almeida DP, Ferreira MC, Santos RTS, Griesang F, Santos ES, Timossi PC (2020) Influence of glyphosate concentrations on spray solution physicochemical characteristics and drift potential. **Engenharia Agrícola** 40(1):69–77.

Anderson NH (1987) Spray retention: effects of surfactants and plant species. **Asp. Appl. Biol.** 14:233–243.

ASABE (2009) **Spray nozzle classification by droplet spectra**. In *American Society of Agricultural Engineers*. ASaBe St. Joseph, MI, USA.

Barroso GM, Carvalho AJE, Custódio IG, Correa JM, Duque TS, Silva DV, Fernandes BCC, Batista LP, Santos JB (2022) Sensitivity of Eucalyptus Clones to Herbicides Associated with Foliar Fertilizers. **Forests** 13(9).

Brankov M, Simic M, Mesarovic J, Kresovic B, Dragicevic V, Brankov M, Simic M, Mesarovic J, Kresovic B, Dragicevic V (2020) Integrated effects of herbicides and foliar fertilizer on corn inbred line. **Chilean Journal of Agricultural Research** 80(1):50–60.

Calore RA, Ferreira MC, Rodrigues NEL, Otuka AK (2015) Distribution pattern, surface tension and contact angle of herbicides associated to adjuvants on spraying and control of Ipomoea hederifolia under rainfall incidence. **Engenharia Agrícola** 35(4): 756–768.

Carvalho, L. (2013). Herbicidas (1a Edição).

Contiero R, Biffe D, Catapan V. (2018). Capítulo 13-Tecnologia de Aplicação. 401–449.

Cosmo Dranca A, Osco Helvig E, Goes Maciel CD, Antônio Carbonari C, Domingues Velini E (2018) Associações de herbicidas com fertilizante foliar e regulador vegetal em soja. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science/Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada Nas Ciências Agrárias** 11(3).

Costa NV, Salvalaggio AC, Ferreira SD, Barbosa JA, Gibbert AM (2020) Sequential application of herbicides alone and in mixture with and without foliar fertilizer after pruning of cassava plants. **Planta Daninha** 38.

Cunha JPAR, Alves GS, Marques RS (2017) Tensão superficial, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica de caldas de produtos fitossanitários e adjuvantes. **Revista Ciência Agronômica** 48(2):261–270.

Andrade D, Ferreira MC, Fenólio LG (2013) Compatibilidade entre acaricidas e fertilizantes foliares em função de diferentes águas no controle do ácaro da leprose dos citros *Brevipalpus phoenicis*. **Revista Brasileira de Fruticultura** 35(1):39–50.

Siqueira JC (2002). *Amaranthaceae*. In M. Wanderley, G. Shepherd, & A. Giulietti (Eds.), **Flora Fanerogâmica do estado de São Paulo: Vol. II** (pp. 11–30).

Delchev G, Dospatliev L, Katrandzhiev N, Stoyanova A (2015) Durum wheat grain yield and quality influenced by some mixtures of foliar fertilizers and combined herbicides. **Comptes Rendus de l'Académie Bulgare Des Sciences** 68(9).

El-Sobki AE, Saad AM, El-Saadony MT, El-Tahan AM, Taha AE, Aljuaid BS, El-Shehawi AM, Salem REME (2021) Fluctuation in amino acids content in *Triticum aestivum* L. cultivars as an indicator on the impact of post-emergence herbicides in controlling weeds. **Saudi Journal of Biological Sciences** 28(11):6332–6338.

Fernández V, Bahamonde HA, Peguero-Pina JJ, Gil-Pelegrín E, Sancho-Knapik D, Gil L, Goldbach HE, Eichert T (2017) Physico-chemical properties of plant cuticles and their functional and ecological significance. **Journal of Experimental Botany** 68(19):5293–5306.

Fishel FM, Ferrell JA (2019) **Water pH and the Effectiveness of Pesticides**. *US Department of Agriculture. University of Florida IFAS*.

Gandini EMM, Costa ESP, Santos JB, Soares MA, Barroso GM, Corrêa JM, Carvalho AG, Zanuncio JC (2020) Compatibility of pesticides and/or fertilizers in tank mixtures. **Journal of Cleaner Production** 268:122152.

Gazziero D (2015) Misturas de agrotóxicos em tanque nas propriedades agrícolas do Brasil. **Planta Daninha** 33(1):83–92.

Griesang F, Decaro RA, Santos CAM, Santos ES, Roque NHL, Ferreira MC (2017) How Much Do Adjuvant and Nozzles Models Reduce the Spraying Drift? Drift in Agricultural Spraying. **American Journal of Plant Sciences** 8(11):2785–2794.

Hartzler B (2023) **Absorption of foliar-applied herbicides | Integrated Crop Management.** Iowa State Weed Science Online. <https://crops.extension.iastate.edu/encyclopedia/absorption-foliar-applied-herbicides>

Horak MLT (2000). Growth analysis of four *Amaranthus* species. **Weed Science** 48(3):347–355.

Husu I, Rodio G, Touloupakis E, Lambrevă MD, Buonasera K, Litescu SC, Giardi MT, Rea G (2013) Insights into photo-electrochemical sensing of herbicides driven by *Chlamydomonas reinhardtii* cells. **Sensors and Actuators B: Chemical** 185:321–330.

Ikeda FS (2014). Resistência de plantas daninhas em soja resistente ao glifosato. **Embrapa Agrossilvipastoril**.

Junior JDG, Júnior JMS, Gontijo GA, Ruas RAA (2015) Pontas hidráulicas, adjuvante e horários de aplicação de fomesafen no controle de picão-preto. **Revista Brasileira de Herbicidas** 14(4):326–332.

Korotkova I, Marenych M, Hanhur V, Laslo O, Chetveryk O, Liashenko V (2021) Weed control and winter wheat crop yield with the application of herbicides, nitrogen fertilizers, and their mixtures with humic growth regulators. **Acta Agrobotanica** 74(1):1–13.

Malone M, Foster E (2019) A mixed-methods approach to determine how conservation management programs and techniques have affected herbicide use and distribution in the environment over time. **Science of The Total Environment** 660:145–157.

Meng Y, Zhong W, Liu C, Su J, Su J, Lan Y, Wang Z, Wang M (2022) UAV spraying on citrus crop: impact of tank-mix adjuvant on the contact angle and droplet distribution. **PeerJ** 10:e13064.

Monquero PA, Christoffoleti PJ, Matas JA, Heredia A (2004) Caracterização da superfície foliar e das ceras epicuticulares em *Commelina benghalensis*, *Ipomoea grandifolia* e *Amaranthus hybridus*. **Planta Daninha** 22(2):203–210.

Negre M, Gennari M, Cignetti A, Zanini E (1988) Degradation of Fluazifop-butyl in Soil and Aqueous Systems. **J. Agríc. FoodChem** 36:1319–1322.

Nuyttens D, Zwertvaegher IKA, Dekeyser D (2017) Spray drift assessment of different application techniques using a drift test bench and comparison with other assessment methods. **Biosystems Engineering** 154:14–24.

Petter FA, Segate D, Almeida FA, Neto FA, Pacheco LP (2013) Incompatibilidade física de misturas entre inseticidas e fungicidas. **Comunicata Scientiae** 4(2):129–138.

Pinke G, Tóth K, Kovács AJ, Milics G, Varga Z, Blazsek K, Gál KE, Botta-Dukát Z, Botta Z, Alm K, Kovács A, G Ábor Milics AJ, An Varga Z, Al A KEG, An Botta-Duk At Z (2014) Use of mesotrione and tembotrione herbicides for post-emergence weed control in alkaloid poppy (*Papaver^o somniferum*). **International Journal of Pest Management** 60(3):187–195.

Radhakrishnan R, Alqarawi AA, Abd Allah EF (2018) Bioherbicides: Current knowledge on weed control mechanism. **Ecotoxicology and Environmental Safety** 158:131–138.

Rotenberg Y, Boruvka L, Neumann AW (1983) Determination of surface tension and contact angle from the shapes of axisymmetric fluid interfaces. **Journal of Colloid and Interface Science** 93(1):169–183.

Ruiter HD, Uffin AJM, Meinen E, Prins A (1990) Influence of Surfactants and Plant Species on Leaf Retention of Spray Solutions. **Weed Science** 38(6):567–572.

Salvalaggio AC, Costa NV, Cazzo VN, Junior EC, Eckert AF (2018) Espalhamento e tensão superficial de gotas de soluções com herbicidas e adjuvantes em folhas de *Digitaria insularis*. **Revista de Agricultura Neotropical** 5(3):60–64.

Smith DB, Askew SD, Morris WH, Shaw DR, Boyette M (2000) DROPLET SIZE AND LEAF MORPHOLOGY EFFECTS ON PESTICIDE SPRAY DEPOSITION. **Transactions of the ASAE** 43(2):255–259.

Sobiech Ł, Grzanka M, Skrzypczak G, Idziak R, Włodarczak S, Ochowiak M (2020) Effect of Adjuvants and pH Adjuster on the Efficacy of Sulcotrione Herbicide. **Agronomy** 10(4):530.

Souza LS, Velini ED, Martins D, Rosolem CA (2006) Efeito alelopático de capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*) sobre o crescimento inicial de sete espécies de plantas cultivadas. **Planta Daninha** 24(4):657–668.

Trogello E, Faustino LL (2019) Tecnologia de Aplicação e a Maior Eficiência de Controle de Plantas Daninhas. In L. L. Costa & R. A. Polanczyk (Eds.), **Tecnologia de Aplicação de Caldas Fitossanitárias** (1a Edição, pp. 119–134).

Vale RL, Netto AM, Toríbio BXL, Lâvor MPB, Siqueira JPS (2019) Assessment of the gray water footprint of the pesticide mixture in a soil cultivated with sugarcane in the northern area of the State of Pernambuco, Brazil. **Journal of Cleaner Production**, 234:925–932.

Webster TM, Grey TL, Ferrell JA (2017) Purple Nutsedge (*Cyperus rotundus*) Tuber Production and Viability Are Reduced by Imazapic. **Weed Science** 65(1):97–106.

Xue S, Xi X, Lan Z, Wen R, Ma X (2021) Longitudinal drift behaviors and spatial transport efficiency for spraying pesticide droplets. **International Journal of Heat and Mass Transfer** 177:121516.

Zandonadi CHS, Burkhardt J, Hunsche M, Cunha JPAR (2018) Tank-mix of chlorantraniliprole and manganese foliar fertilizers: Impact on rheological characteristics, deposit properties and cuticular penetration. **Crop Protection** 106:50–57.

CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

As misturas de herbicidas e fertilizantes podem reduzir a toxicidade dos herbicidas e fornecer nutrientes nas etapas iniciais das diversas culturas. No entanto, as avaliações da compatibilidade físico-química podem garantir o sucesso das pulverizações. Além disso, é importante conhecer as propriedades físico-química das caldas para prever o comportamento das caldas fitossanitárias e as características morfológicas das plantas daninhas para a escolha correta dos herbicidas e outros produtos fitossanitários.