

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA**

AMANDA KAROLINA GARCIA MARQUES

**AVALIAÇÃO FÍSICA DE MISTURAS DE HERBICIDAS PÓS-EMERGENTES
DA CULTURA DO TRIGO**

Itaqui, RS, Brasil

2024

AMANDA KAROLINA GARCIA MARQUES

**AVALIAÇÃO FÍSICA DE MISTURAS DE HERBICIDAS PÓS-EMERGENTES
DA CULTURA DO TRIGO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharela em **Agronomia**.

Orientador: Prof. Dr. Glauber Monçon Fipke

Itaqui, RS, Brasil

2024

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pela autora através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de
Recursos Institucionais

M357a Marques, Amanda Karolina Garcia
Avaliação física de misturas de herbicidas pós-emergentes
da cultura do trigo / Amanda Karolina Garcia Marques.
48 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, AGRONOMIA, 2024.

"Orientação: Glauber Monçon Fipke".

1. Agrotóxicos. 2. Preparo de calda. 3. Mistura em tanque.
4. Interações. I. Título.

AMANDA KAROLINA GARCIA MARQUES

**AVALIAÇÃO FÍSICA DE MISTURAS DE HERBICIDAS PÓS-EMERGENTES
DA CULTURA DO TRIGO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharela em **Agronomia**.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 12 jul. 2024.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Glauber Monçon Fipke

Orientador

Curso de Agronomia - UNIPAMPA

Prof. Dr. Rodrigo Luiz Ludwig

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS)

Me. Rodrigo Trindade Pinheiro

Técnico Administrativo em Educação - UNIPAMPA

AGRADECIMENTO

Primeiramente, a Deus, pela vida, proteção, bênçãos, oportunidades e sonhos alcançados.

Aos meus pais, Denize Oldani e Batista Marques pelo apoio, por acreditarem em mim e nos meus sonhos e que independentemente de qualquer coisa sempre estiveram ao meu lado, e ter a certeza que eu sempre terei um lugar para voltar. Obrigada por sempre me permitirem voar em busca dos meus sonhos, amo vocês!

Ao meu irmão Samuel Marques e minha cunhada Gabrielli Marques pelo apoio.

A minha sobrinha Débora Marques que mesmo tão pequena me motiva a ser melhor a cada dia, o teu beijo e abraço, na maioria das vezes, foi o combustível para continuar. A tia te ama!

Ao Rodrigo Dieminger, meu namorado, que nunca mediu esforços para fazer o melhor por mim/nós, mesmo a distância se fez presente em todos os momentos, me auxiliando em cada etapa da minha vida, eu te amo!

A Thaise Dieminger e ao Henrique Zanardo pela ajuda, conselhos e apoio vocês foram essenciais!

Aos meus amigos e colegas da graduação Nadine Diaz, Pedro Zimmermann, Dionathan Goulart, Geovana Azolin, Norival Meus, Larissa Robalo, Larissa Borges, William Zimmermann, Miguel Leal e João Souza. Em especial Victoria Cabreira, Natália Scheffer e Leonardo Brandli. Durante esses anos vocês foram a minha família e estiveram ao meu lado em momentos bons e ruins, sempre serei grata por tudo que fizeram por mim. E a todas as amizades cultivadas em Itaqui/RS.

Ao meu orientador Prof. Dr. Glauber Monçon Fipke pela ajuda, acompanhamento, compreensão e incentivo desde o início do projeto e por sempre estar disponível para esclarecer as dúvidas.

Ao Me. Rodrigo Trindade e ao Prof Rodrigo Ludwig por terem aceito fazer parte da banca.

As empresas e profissionais da área que me doaram os agrotóxicos para que esse trabalho pudesse ter sido realizado.

Por fim, expresso minha gratidão a todos os professores e funcionários que, de alguma forma, contribuíram para minha formação acadêmica.

Este trabalho não teria sido possível sem o apoio e encorajamento de cada um de vocês.

Obrigada por fazerem parte desta jornada!

EPÍGRAFE

“Faça o teu melhor, na condição que você tem, enquanto você não tem condições melhores, para fazer melhor ainda.”

Mário Sérgio Cortella

RESUMO

AVALIAÇÃO FÍSICA DE MISTURAS DE HERBICIDAS PÓS-EMERGENTES DA CULTURA DO TRIGO

O presente trabalho objetivou analisar as interações entre as misturas de herbicidas pós-emergentes recomendado para cultura do trigo avaliando a compatibilidade física dessas misturas em diferentes volumes de calda e intervalos de tempo. O experimento foi conduzido no laboratório de Entomologia e Plantas Daninhas da Universidade Federal do Pampa. O método de preparo de calda para avaliação de compatibilidade físico-química utilizado é o descrito na norma da ABNT NBR 13875 Agrotóxicos e afins – Avaliação de compatibilidade físico-química, com adoção da técnica estática. Foram adotados dois volumes de calda para simulação de condição de campo, sendo 200 L ha⁻¹ para simulação de aplicação terrestre e 10 L ha⁻¹ para simulação de aplicação aérea com drones. As doses utilizadas foram as máximas indicadas na bula de cada produto para cultura do trigo. As avaliações foram realizadas imediatamente após as misturas nos tempos de 1, 5, 10, 30 minutos e 2, 6 e 24 horas após o preparo da calda (APC). As misturas testadas incluíram as seguintes combinações: Topik® + Zartan®; Topik® + Basagran®; Topik® + DMA®; Axial® + Zartan®; Axial® + Basagran®; Axial® + DMA®; Tricea® + DMA®; Tricea® + Zartan®; Hussar® + Axial®; Hussar® + Topik®; Raptor® + Axial®; Raptor® + Topik®; DMA® + Zartan®. Os resultados indicaram que as misturas no volume de aplicação de 200 L ha⁻¹ Tricea® + Zartan® e Tricea® + DMA® o recomendado seria não aplicar. As misturas Topik® + Zartan®, Topik® + Basagran®, Topik® + DMA®, Hussar® + Topik®, Raptor® + Topik® o ideal seria manter agitação contínua APC, permitindo que sejam aplicadas. E para o volume de aplicação de 10 L ha⁻¹ as misturas Topik® + Zartan®, Topik® + Basagran®, Topik® + DMA®, Tricea® + DMA®, Tricea® + Zartan®, Hussar® + Topik® e Raptor® + Topik® demonstraram incompatibilidade física em curtos períodos de tempo, não sendo recomendadas para aplicação. Hussar® + Axial® e Raptor® + Axial® podem ser recomendadas desde que possua agitação contínua APC. Portanto, sugere-se realizar novos estudos para obter mais informações, visto que muitas misturas apresentam incompatibilidades físicas, em baixo volumes de aplicação

Palavras-Chave: Agrotóxicos; Preparo de calda; Mistura em tanque; Interações

ABSTRACT

This study aimed to analyze the interactions among post-emergence herbicide mixtures recommended for wheat crops, evaluating the physical compatibility of these mixtures at different spray volumes and time intervals. The experiment was conducted at the Entomology and Weed Plants Laboratory of the Federal University of Pampa. The method for preparing the spray solution to assess physical-chemical compatibility followed the guidelines of ABNT NBR 13875 - Agrochemicals and Related Products - Evaluation of Physical-Chemical Compatibility, using the static technique. Two spray volumes were simulated to mimic field conditions 200 L ha⁻¹ for ground application and 10 L ha⁻¹ for aerial application using drones. The maximum doses recommended in the product labels for wheat crops were used. Evaluations were conducted immediately after mixing and at 1, 5, 10, 30 minutes, and 2, 6, and 24 hours after preparation of the spray solution (APS). The tested mixtures included: Topik® + Zartan®, Topik® + Basagran®, Topik® + DMA®, Axial® + Zartan®, Axial® + Basagran®, Axial® + DMA®, Tricea® + DMA®, Tricea® + Zartan®, Hussar® + Axial®, Hussar® + Topik®, Raptor® + Axial®, Raptor® + Topik®, and DMA® + Zartan®. Results indicated that for the 200 L ha⁻¹ application volume, Tricea® + Zartan® and Tricea® + DMA® were not recommended for application. For mixtures such as Topik® + Zartan®, Topik® + Basagran®, Topik® + DMA®, Hussar® + Topik®, and Raptor® + Topik®, continuous agitation after APS is ideal for allowing application. For the 10 ha⁻¹ application volume, mixtures like Topik® + Zartan®, Topik® + Basagran®, Topik® + DMA®, Tricea® + DMA®, Tricea® + Zartan®, Hussar® + Topik®, and Raptor® + Topik® showed physical incompatibility over short periods and were not recommended for application. Hussar® + Axial® and Raptor® + Axial® could be recommended with continuous agitation after APS. Therefore, further studies are suggested to obtain more information, as many mixtures exhibit physical incompatibilities at low application volumes."

Keywords: Pesticide; Spray preparation; Tank mixing; Interactions

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. (A) Avaliação individual do herbicida Topik® 2 horas após o preparo da calda (APC); (B) 6 horas APC; (C) 24 horas APC com simulação de volume de calda de 200 L ha⁻¹..... 28
- Figura 2. (A) Avaliação do ensaio individual com o herbicida Tricea®; (B) Avaliação do ensaio individual com o herbicida Zartan® (C) Avaliação do ensaio de misturas com Tricea® + Zartan®, em simulação de volume de calda de 200 L ha⁻¹..... 30
- Figura 3. (A) Avaliação do ensaio individual com o herbicida Tricea®; (B) Avaliação do ensaio individual com o herbicida DMA® (C) Avaliação do ensaio de misturas com Tricea® + DMA®, em simulação de volume de calda de 200 L ha⁻¹..... 31
- Figura 4. (A) Ocorrência de sedimentação associada a separação de fases no Hussar 6 horas APC; (B) Ocorrência de sedimentação associada a separação de fases no Hussar 24 horas APC..... 35
- Figura 5. (A) Ocorrência de sedimentação associada a separação de fases do Raptor® 2 horas APC; (B) Ocorrência de sedimentação associada a separação de fases do Raptor® 6 horas APC; (C) Ocorrência de sedimentação associada a separação de fases do Raptor® 24 horas APC..... 35
- Figura 6. (A) Ocorrência de sedimentação e separação de fases na mistura Topik® + Zartan® 2 horas APC; (B) Ocorrência de sedimentação e separação de fases na mistura Topik® + Basagran® 30 minutos APC..... 38
- Figura 7. (A) Ocorrência de sedimentação e separação de fases na mistura Topik® + DMA® 5 minutos APC; (B) Ocorrência de sedimentação e separação de fases na mistura Topik® + DMA® 2 horas APC..... 39
- Figura 8. (A) Ocorrência de sedimentação e separação de fases na mistura Hussar® + Topik® 5 minutos APC; (B) Ocorrência de sedimentação e separação de fases na mistura Hussar® + Topik® 6 horas APC..... 39
- Figura 9. (A) Ocorrência de sedimentação na mistura Tricea® + DMA® 5 minutos APC; (B) Ocorrência de sedimentação na mistura Tricea® + Zartan® 5 minutos APC..... 40
- Figura 10. (A) Ocorrência de sedimentação na mistura Raptor® + Axial® 2 horas APC..... 41
- Figura 11. Ocorrência de sedimentação e separação de fases na mistura Raptor® + Topik® em todos os tempos..... 41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Nome comercial, ingrediente ativo, formulação e concentração e os mecanismos de ação.....	23
Tabela 2. Constante de dissociação eletrolítica (pKa), coeficiente octanol/água (Kow), solubilidade (S) e pressão de vapor (PV) dos herbicidas utilizados.....	24
Tabela 3. Nome comercial, faixa de dose dos herbicidas registrados para cultura do trigo e os volumes de caldas utilizados para avaliação físico-química das misturas....	25
Tabela 4. Grau de estabilidade de mistura entre agrotóxicos.....	26
Tabela 5. Avaliação das características dos herbicidas individuais com volume de aplicação 200 L ha ⁻¹	28
Tabela 6. Interação de misturas de herbicidas no volume de aplicação de 200 L ha ⁻¹	29
Tabela 7. Avaliação das características dos herbicidas individuais com volume de aplicação 10 L ha ⁻¹	33
Tabela 8. Interação de misturas de herbicidas no volume de aplicação de 10 L ha ⁻¹	37
Tabela 9. Valores de pH das caldas em mistura.....	43
Tabela 10. Valores de pH das caldas dos herbicidas ensaiados individualmente.....	44

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ALS – Acetolactato sintase

APC – Após preparo da calda

EC – Concentrado emulsionável

SL – Concentrado solúvel

WG – Granulado dispersível

OD - Dispersão de óleo

UNIPAMPA – Universidade Federal do Pampa

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Objetivo geral.....	15
1.2 Objetivo específicos.....	15
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1 Manejo de plantas daninhas em trigo.....	16
2.2 Formulações.....	17
2.3 Misturas entre agrotóxicos.....	18
2.4 Interações físico-químicas.....	19
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1 Descrição do local e método utilizado.....	22
3.2. Descrição dos herbicidas utilizados.....	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	27
4.1. Volume terrestre (200 L ha ⁻¹).....	27
4.1.1 Ensaio individual dos herbicidas no volume de aplicação de 200 L ha ⁻¹ ... 27	
4.1.2 Ensaio das misturas de herbicidas no volume de aplicação de 200 L ha ⁻¹	129
4.2 Volume aéreo (10 L ha ⁻¹).....	32
4.2.1 Ensaio individual dos herbicidas no volume de aplicação de 10 L ha ⁻¹	32
4.2.2 Ensaio das misturas dos herbicidas no volume de aplicação de 10 L ha ⁻¹	136
4.3 Potencial hidrogeniônico das caldas (pH) e constante de dissociação eletrolítica (pKa) dos herbicidas.....	42
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	45
REFERÊNCIAS.....	46

1. INTRODUÇÃO

A cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) é uma das mais importantes *commodities* negociadas nos mercados internacionais e o Brasil ocupa o 20º lugar no mundo. O estado do Rio Grande do Sul é o maior produtor no Brasil, alcançando uma produção média de 4,5 milhões de toneladas na safra 2023 (SEAPI, 2023)

Para a cultura alcançar altos índices de produtividade o uso de defensivos agrícolas para o controle de pragas, doenças e plantas daninhas é indispensável visto que, esses fatores podem causar perdas economicamente significativas na produtividade. As plantas daninhas são uma das principais responsáveis pelas perdas na produtividade, pois competem diretamente com a cultura. As principais espécies que causam prejuízos na produtividade do trigo são as gramíneas, azevém (*Lolium multiflorum*) e aveia preta (*Avena strigosa*). Outra planta daninha pertencente à espécie das dicotiledôneas, o Nabo (*Raphanus raphanistrum* e *R. sativus*).

O uso de herbicidas tem sido o principal método de controle das plantas daninhas. Mas o uso inadequado desses produtos pode trazer consequências negativas como a resistência das plantas daninhas, dificultando o controle. Outro ponto a ser citado é a falta de produtos para o controle na pós-emergência, visto que possui poucos herbicidas registrados, dificultando a rotação de produtos, principalmente para as espécies que já possuem resistência aos herbicidas.

A estratégia de associar dois produtos ou mais em um tanque de pulverização, seja para aplicação aérea ou terrestre, é uma prática muito utilizada por diversos agricultores visando aumentar o espectro de ação, reduzir o número de aplicações, reduzir os custos de produção e reduzir o volume de água utilizado. No entanto, quando realizada essa associação, podem ocorrer interações físicas e/ou químicas na calda, podendo resultar em incompatibilidade entre os produtos ou biologicamente nas plantas.

Diante disso, reconhece-se a relevância em pesquisas e resultados científicos que avaliem a compatibilidade das misturas em tanque, entretanto esse assunto apresenta uma grande carência de informações e devido a isso, a condução deste trabalho contribui para evitar prejuízos financeiros e ambientais, auxiliando também, agricultores e profissionais da área em suas tomadas de decisões.

1.1 Objetivo geral

O presente trabalho objetivou analisar as interações entre as misturas de herbicidas pós-emergentes recomendado para cultura do trigo (*Triticum aestivum L*) avaliando a compatibilidade física dessas misturas em diferentes volumes de calda e intervalos de tempo.

1.2 Objetivo específicos

- Analisar a interação individual dos herbicidas;
- Verificar as reações entre as misturas de herbicidas, avaliando a compatibilidade física e o pH em dois volumes de calda e diferentes intervalos de tempo;
- Gerar informações relevantes sobre o assunto que possam orientar os profissionais em suas futuras tomadas de decisões.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Manejo de plantas daninhas em trigo

Planta daninha se refere a qualquer tipo de espécie que cresce espontaneamente em meio a cultura de interesse e que apresenta características especiais, como de agressividade, permitindo a sua sobrevivência no ambiente (SILVA et al., 2007). Com isso em vista, as plantas daninhas estão entre os fatores que mais influenciam na produtividade da cultura do trigo ao competirem por água, luz e nutrientes. Na região Sul as plantas daninhas que mais se destacam no período de inverno são o azevém (*Lolium multiflorum*), aveia preta (*Avena strigosa*) e nabo (*raphanus raphanistrum*), pois o seu aumento é gradativo a cada ano, visto que essas espécies são utilizadas como cobertura de solo e pastagens de inverno destinadas à alimentação animal (LAMEGO et al., 2013).

Os herbicidas são o método de controle químico mais utilizado para combater as plantas daninhas, sejam eles pré-emergentes ou pós-emergentes. No entanto, o uso frequente e inadequado desses herbicidas podem resultar em plantas daninhas resistentes, como, por exemplo, o nabo pois essa espécie já apresenta relatos de resistência a alguns herbicidas inibidores da enzima acetolactato sintase (ALS). Outra espécie é o azevém, com biótipos resistente a herbicidas da enzima acetil coenzima A carboxilase (ACCase) e ALS (Heap, 2024).

Atualmente, dentre os herbicidas registrados para controlar as monocotiledôneas que apresentam folha estreita como o azevém e a aveia são os Clodinafop e Pinoxaden. E para controlar as dicotiledôneas que apresentam folhas largas como o nabo são os 2,4-D, metsulfuron e bentazon. Já os de amplo espectro são o Imazamox, Piroxulan e o Iodosulfuron que controlam ambas espécies (AGROFIT, 2024)

O controle após a emergência representa um desafio significativo, pois existem poucos herbicidas registrados para essa modalidade e a crescente resistência de algumas plantas daninhas. Diante desse cenário, os agricultores buscam alternativas, como a mistura de diferentes herbicidas para otimizar o controle. No entanto, essas misturas podem resultar em efeitos aditivos sinérgicos ou antagônicos, o que pode comprometer o desenvolvimento das culturas (SINGH et al., 2011).

2.2 Formulações

A formulação de agrotóxicos consiste em tornar o produto comercial mais adequado para o uso agrícola apresentando características desejáveis de segurança e eficiência no controle de pragas e doenças das culturas (BOLLER, 2019). O ingrediente ativo da formulação está relacionado às características físico-químicas onde a forma física possui ação herbicida, fungicida ou inseticida. E a química está relacionada aos componentes inertes que são os adjuvantes tais como surfactantes, solventes, emulsificantes, antiespumantes, estabilizadores, antimicrobianos, anticongelantes, pigmentos/corantes e reguladores de pH que auxiliam na penetração do produto no alvo a ser atingido (PRISCO, 2019).

Hewitt (1998) e Lyr (1995) explicam que as formulações devem apresentar características de segurança para as culturas, devem ser fáceis de manusear, compatíveis com outros produtos, fáceis de serem aplicadas, validarem com órgãos regulatórios para registro e apropriadas para comercialização em larga escala.

Desse modo, as formulações podem ser comercializadas como líquidos solúveis, concentrados emulsificáveis, concentrados em suspensão ou géis, ou sólidos, sendo incluso neste último os pós-molháveis e grânulos dispersíveis em água. O efeito biológico dos herbicidas depende do ingrediente ativo, da susceptibilidade da planta, da absorção e da translocação. Os herbicidas de contato e sistêmicos possuem diferentes modos de ação, onde os de contato penetram na cutícula para atingir o citoplasma da célula, enquanto os sistêmicos são translocado para atingir ao sítio e ação (Mendes et al., 2023).

Ao escolher a formulação, é importante considerar os seguintes critérios: características físicas e biológicas da planta daninha-alvo, equipamentos de aplicação disponíveis, perigo de deriva e lixiviação, potencial de toxicidade da cultura, custos, armazenamento e tipo de ambiente na qual a aplicação é realizada (OZKAN, 1995).

Conforme o Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) é utilizado as terminologias da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 12697) para classificação dos tipos de formulações. Atualmente existem 27 formulações diferentes para produtos com diluição em água, sendo os mais utilizados pela praticidade de aplicação. Em relação aos herbicidas, destacam-se as formulações sólidas representadas pelo WG (grânulos dispersíveis em água) e o WP (pó

molhável) e as formulações líquidas com destaque do SL (concentrado solúvel), EC (concentrado emulsionável), SC (suspensão concentrada), CS (suspensão de cápsulas) e DC (concentrado dispersível).

As terminologias das formulações presentes na norma da ABNT NBR 12679 – Agrotóxicos e Afins – Produtos técnicos, concentrados técnicos e formulações – Terminologia: a) Grânulos dispersíveis em água (WG): formulação sólida constituída de grânulos, para aplicação, após desintegração e dispersão em água; b) Pó molhável (WP): formulação sólida, na forma de pó, para aplicação sob a forma de suspensão, após a dispersão em água; c) Concentrado solúvel (SL): formulação líquida límpida, opaca para aplicação sob a forma de solução de ingrediente ativo, após a diluição em água; d) Concentrado emulsionável (EC): formulação líquida e homogênea para aplicação sob a forma de emulsão, após a diluição em água; e) Suspensão concentrada (SC): formulação constituída por uma suspensão estável de ingrediente(s) ativo(s) em água, a ser aplicada após a diluição em água; f) Suspensão de cápsulas (CS): suspensão estável de cápsulas em fluido, normalmente utilizada para diluição em água antes do uso; g) Concentrado dispersível (DC): formulação homogênea líquida para aplicação como dispersão sólida, após diluição em água.

2.3 Misturas entre agrotóxicos

A definição da mistura em tanque é a associação de produtos fitossanitários e afins, no tanque do equipamento aplicador imediatamente antes da aplicação (BOLLER et al., 2019). Ela é utilizada com o intuito de aumentar o residual e o espectro de ação, resultando em um controle mais eficiente. Mas, é importante ressaltar que a aplicação com dois ou mais produtos com ingredientes ativos, ou mecanismos de ação diferentes pode permitir o controle de espécies tolerantes a certos herbicidas e também, prevenir à resistência de plantas daninhas (ABBAS, et al., 2016).

A regulamentação das misturas de agrotóxicos em tanque evoluiu ao longo do tempo, pois entre os anos de 1995 e 2002 o Ministério da Agricultura exigia registro para as misturas (PETTER et al., 2013; GAZZIERO, 2015). Dessa forma, segundo a Instrução Normativa n.o 40, de 11 de outubro de 2018, que regulamenta as misturas em tanque, é permitida se houver uma prescrição agrônômica

elaborada por um(a) Engenheiro(a) Agrônomo(a), contendo todas as informações previamente estabelecidas conforme as práticas agrícolas adequadas, incluindo detalhes sobre a possível incompatibilidade de agrotóxicos (BRASIL, 2018).

Em relação ao volume de calda utilizado para aplicação, 100 L ha^{-1} é considerado o ideal na maioria dos casos, porém deve-se seguir os intervalos especificados na bula de cada produto. A mudança no volume de aplicação pode modificar a concentração dos produtos, afetando a solubilidade dos produtos, podendo gerar incompatibilidades físico-químicas comprometendo a eficácia dos produtos (OLIVEIRA et al., 2021; GAZZIERO, 2021). Entrando no contexto sobre os baixos volumes de calda, pode-se citar o uso de drones que vem ganhando espaço em áreas agrícolas, principalmente em áreas menores ou de difícil acesso, diante disso, é de grande relevância estudos com volumes de aplicação menores, devido ao crescimento da utilização deste meio de aplicação.

O tempo de armazenamento prolongado de uma mistura pode comprometer diretamente a eficácia do ingrediente ativo dos produtos, pois estão sujeitas à degradação por processos como a hidrólise, que é influenciada pelo pH, como também, comprometer a estabilidade da solução. Portanto, ao armazenar a mistura por curtos períodos, é crucial realizar uma análise visual para detectar possíveis incompatibilidades antes de proceder com a pulverização novamente (GAZZIERO, 2021).

2.4 Interações físico-químicas

A mistura entre agrotóxicos pode resultar em diferentes tipos de interações físico-químicas e fisiológicas. As interações químicas resultam em efeitos aditivos, sinérgicos ou antagônicos. Quando a eficiência do produto é igual ou similar ao resultado individual, temos um efeito aditivo, o efeito sinérgico ocorre quando a mistura aumenta a eficiência entre os produtos e antagônico quando um produto interfere negativamente na eficiência do outro. Os efeitos sinérgicos e aditivos estão associados à compatibilidade, enquanto o efeito antagônico a incompatibilidade. Essas modificações podem alterar o pH, a condutividade elétrica e a tensão superficial da solução de pulverização (PETTER et al., 2013; QUEIROZ et al. 2008).

Já as reações físicas são decorrentes das interações entre os ingredientes ativos e da interações entre os ingredientes inertes das diferentes formulações, que

resultam em dificuldades para dissolver os produtos misturados, podendo resultar em separação de fases, complexão com possível formação de aglomerados e precipitados, sedimentação e excesso de formação de espuma (SILVA et al., 2007; PETTER et al, 2012; GAZZIERO, 2015).

De modo geral, as interações físicas são associadas aos ingredientes inertes presentes nos defensivos, como formulações e solventes, enquanto as interações químicas estão relacionadas às moléculas dos próprios defensivos, abrangendo a troca de energia entre moléculas geralmente próximas, o que pode alterar as propriedades da mistura. No entanto, a interação dos defensivos começa primeiramente de maneira física, devido às características físico-químicas dos defensivos, como solubilidade, constante de ionização (pKa) e coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}), e posteriormente ocorre as interações químicas (PETTER et al., 2013).

Embora alguns produtos possam se misturar homogeneamente no tanque, a presença de ingredientes quimicamente incompatíveis pode comprometer sua eficácia e até mesmo causar danos às culturas. Por outro lado, ingredientes que não se misturam são considerados fisicamente incompatíveis, o que pode resultar em problemas de mistura e até mesmo obstruir os sistemas de pulverização, interrompendo os processos de aplicação (WHITFORD et al., 2018; GAZZIERO, 2015).

O mecanismo de ação, dureza da água e o pH são fatores que estão associados à incompatibilidade química dos produtos utilizados no preparo da calda (QUEIROZ et al., 2008). Segundo Kissmann (1997) o pH da água pode influenciar diretamente no resultado da aplicação, pois quando se possui um pH alcalino (alto), pode ocorrer a degradação das moléculas por hidrólise, devido a constante de dissociação de muitas moléculas de herbicidas depender do pH. E quando se possui um pH ácido (baixo) pode ocorrer uma dissociação iônica, devido a isso é fundamental um equilíbrio no nível do pH.

A água utilizada no preparo da calda com índices de dureza alta favorece as reações entre os componentes ativos e inertes dos agrotóxicos com íons livres na solução como Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} e Al^{3+} (STUMM e MORGAN, 1996).

A adição de adjuvantes na calda é outro fator que pode vir a interferir na incompatibilidade física e química da solução, reduzindo a eficiência dos produtos e podendo ocorrer perdas seletivas em algumas culturas (QUEIROZ et al., 2008).

Entretanto, é uma ferramenta recomendada para o preparo de caldas, pois atua com o objetivo de favorecer a compatibilidade, penetração e/ou absorção de ingredientes ativos pelas folhas (ZIMDAHL., 2018).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição do local e método utilizado

O experimento foi conduzido no laboratório de Entomologia e Plantas Daninhas da Universidade Federal do Pampa - Campus Itaqui, com início em novembro de 2023 e término em março de 2024.

O método de preparo de calda para avaliação de compatibilidade físico-química utilizado é o descrito na norma da ABNT NBR 13875 Agrotóxicos e afins – Avaliação de compatibilidade físico-química, com adoção da técnica estática.

Os herbicidas e as misturas utilizadas foram ensaiadas para simular aplicações na pós-emergência da cultura do trigo, na qual, as misturas envolveram herbicidas latifolicidas, graminicidas e amplo espectro, contendo três repetições.

3.2. Descrição dos herbicidas utilizados

Na tabela 1 estão descritas as características dos herbicidas utilizados, abrangendo o nome comercial, ingrediente ativo, concentração e o mecanismo de ação. E na tabela 2 é apresentado os principais atributos físico-químicos.

Tabela 1. Nome comercial, ingrediente ativo, formulação e concentração e os mecanismos de ação.

Nome comercial	Ingrediente ativo	Formulação e concentração (g/L ou g/Kg)	Mecanismos de ação
Axial®	Pinoxaden	EC 50	Inibidores da ACCase
Basagran®	Bentazona	SL 600	Fotossistema II
Hussar®	Iodosulfurom-metilico	WG 50	Acetolactato sintase (ALS)
Raptor®	Imazamoxi	WG 700	Acetolactato sintase (ALS)
Topik®	Clodinafope	EC 240	Acetil-Co A carboxilase (ACCcase)
Tricea®	Piroxulan	OD 45	Acetolactato sintase (ALS)
Zartan®	Metsulfuron	WG 600	Acetolactato sintase (ALS)
DMA®	2,4-D	SL 670	Mimetizadores da auxina

g/L ou g/Kg de i.a. = gramas por litro ou gramas por quilogramas de ingrediente ativo; EC - Concentrado emulsionável; SL - Concentrado solúvel; WG - Granulado dispersível; OD - Dispersão de óleo ou suspensão concentrada em óleo;

Tabela 2. Constante de dissociação eletrolítica (pKa), coeficiente octanol/água (Kow), solubilidade (S) e pressão de vapor (PV) dos herbicidas utilizados.

Ingrediente Ativo	pKa⁽¹⁾	log Kow⁽²⁾	S (mg/L)⁽³⁾	PV (Pa)⁽⁴⁾
Pinoxaden	*	3,2	200	9,20 x 10 ⁻⁰⁷
Bentazona	3,51	-0,46	7112	7,20 x 10 ⁻⁰⁵
Iodosulfurom-metílico	3,22	-0,7	2500	6,7 x 10 ⁻⁹
Imazamoxi	2,3	-2,9	626	4,9 x 10 ⁻¹²
Clodinafope	2,91	3,9	4	3,19 x 10 ⁻³
Piroxulan	4,67	-1,01	3200	6,94 x 10 ⁻⁰⁷
Metsulfuron	3,75	0,018	2790	3,3 x 10 ⁻¹¹
2,4-D	2,80	-0,82	900	1,9 x 10 ⁻⁰⁶

Fonte: Pesticide Properties DataBase (2021); Rodrigues e Almeida (2018). * Não possui recomendação; Constante de dissociação eletrolítica a 25 °C; (2) Coeficiente de partição octanol/água; (3) Solubilidade em água em miligramas por litro; (4) Pressão de vapor em pascal;

As doses utilizadas foram as máximas indicadas na bula de cada produto para cultura do trigo, sem a adição de adjuvante. Os herbicidas líquidos foram dosados com seringa de 1, 3, 5, 10 mL, conforme a dosagem do produto era escolhido a seringa adequada, com o intuito de possuir maior precisão, os sólidos pesados na balança analítica com precisão de 0,001 g.

Foram adotados dois volumes de calda para simulação de condição de campo, sendo 200 L ha⁻¹ para simulação de aplicação terrestre e 10 L ha⁻¹ para simulação de aplicação aérea com drones. O volume de 200 L ha⁻¹ utilizados está dentro da faixa recomendada conforme a bula de cada produto. Por outro lado, o volume de 10 L ha⁻¹ não se enquadra nas faixas recomendadas na bula dos respectivos produtos (tabela 3), pois não há recomendação de bula para aplicações aéreas de drone, apenas para aplicações com avião agrícola.

Tabela 3. Nome comercial, faixa de dose dos herbicidas registrados para cultura do trigo e os volumes de caldas utilizados para avaliação físico-química das misturas.

Herbicida	Faixa de dose de registro do p.c. (ha ⁻¹)	Volume de calda Terrestre	Volume de calda Aérea
Axial®	0,8 – 1,0	200 L/ha	20 – 40 L/ha
Basagran®	1,2	150 – 200 L/ha	30 – 50 L/ha
Hussar®	70	200 – 300 L/ha	30 – 50 L/ha
Raptor®	35 – 130	150 – 200 L/ha	30 – 50 L/ha
Topik®	200 – 250	100 – 300 L/ha	30 – 50 L/ha
Tricea®	340 – 400	100 – 200 L/ha	**
Zartan®	3,3	100 – 300 L/ha	20 – 50 L/ha
DMA®	1 - 1,5	150 – 300 L/ha	**

*L ou Kg de p.c./ha = Litros ou quilogramas de produto comercial por hectare; ** Não há recomendação para essa modalidade.

Para o preparo das caldas foi utilizado 500 mL de água destilada nos balões volumétricos de 1000 mL. Primeiramente, foi adicionado 250 ml de água destilada em cada balão, logo após foi incluído o (s) produto (s), brevemente diluídos com água, com auxílio de um becker de 25 ml, e por fim adicionado o restante do volume de água. Para se obter a homogeneização dos produtos foi realizada dez inversões do recipiente, uma a cada 2 segundos. A água apresentava pH neutro.

As misturas entre os diferentes herbicidas foram realizadas conforme a norma da ABNT descrita acima, os produtos com formulação WG foram adicionados primeiramente a calda seguidos dos de formulação SL, OD e EC conforme recomendações da bula, ambos foram diluídos em água.

As avaliações foram realizadas imediatamente após as misturas nos tempos de 1, 5, 10, 30 minutos e 2, 6 e 24 horas após o preparo da calda (APC). Para avaliação do pH foi utilizado um pHmetro da marca AKSO®, as avaliações ocorreram após a última avaliação de 24 horas.

Para as avaliações de até 30 minutos foi utilizado o critério de avaliação proposto por Petter (2012) e Fehndrich (2021), onde através da observação de interações da calda se atribuía notas de 1 a 5 conforme especificado na tabela 4.

E nas avaliações após 2, 6 e 24 horas foram utilizados os critérios de avaliação propostos pela norma da ABNT NBR 13875. No primeiro momento a calda foi avaliada visualmente quanto ao seu aspecto, e na sequência foram realizadas dez inversões para avaliar a capacidade de redispersão da calda, após 10 minutos de repouso se avaliava novamente.

Antes de realizar as avaliações das misturas, os herbicidas foram analisados de forma individual, empregando os mesmos critérios que foram utilizados nas misturas e nos mesmos volumes de calda (200 e 10 L ha⁻¹).

Tabela 4. Grau de estabilidade de mistura entre agrotóxicos.

GRAU	CONDIÇÃO	RECOMENDAÇÃO
1	Separação imediata	Não aplicar
2	Separação depois de 1 minuto	Não aplicar
3	Separação depois de 5 minutos	Agitação contínua
4	Separação depois de 10 minutos	Agitação contínua
5	Estabilidade perfeita	Sem restrições

Fonte: Centro Brasileiro de Bioaeronáutica (CBB).

Com base nesses critérios de avaliação, foi atribuído o símbolo “C” para as caldas que apresentaram compatibilidade. Para as caldas que não apresentaram estabilidade perfeita, foram descritas conforme as suas características, sendo elas, “S” para separação de fases, “D” para sedimentação e “E” para espuma. Sendo de suma importância destacar que a compatibilidade física são as primeiras características a serem observadas em misturas em tanques.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Volume terrestre (200 L ha⁻¹)

4.1.1 Ensaio individual dos herbicidas no volume de aplicação de 200 L ha⁻¹

Ao observar a tabela 5 nota-se que o herbicida Topik® (clodinafope) foi o único a apresentar características de sedimentação nas primeiras 2, 6 e 24 horas após o preparo de calda (APC) (Figura 1). Após a agitação posterior ao período de repouso, a calda se manteve estável quando avaliada nas 2 e 6 horas. Porém, quando avaliado após 24 horas, a calda apresentou sedimentação contínua. Os demais herbicidas apresentaram estabilidade perfeita na calda, sem a presença de quaisquer interações. Sendo assim, esses herbicidas podem ser recomendados aos agricultores para aplicação a campo.

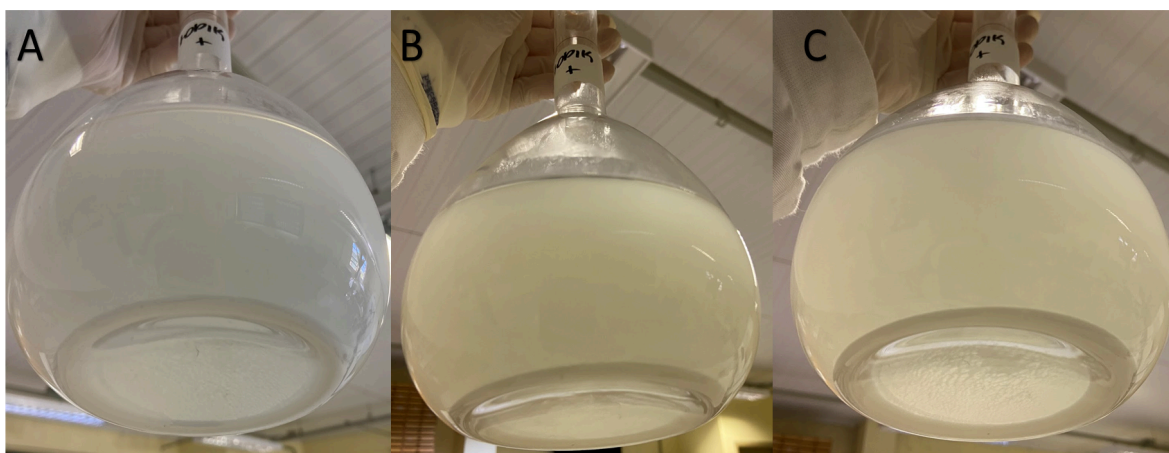
Entretanto, o Topik® é um herbicida que necessita de cuidados especiais quando armazenado por longos períodos no tanque de pulverização. A durabilidade dos ingredientes ativos pode ser comprometida durante o armazenamento, uma vez que processos como a hidrólise, sendo significativamente afetados pelo pH, podem levar à degradação desses componentes, afetando tanto a eficácia quanto a estabilidade da mistura. Em situações em que o armazenamento no tanque se faz necessário por mais tempo, como em períodos chuvosos ou em grandes áreas que demandam a preparação de volumes maiores de calda, torna-se essencial avaliar visualmente a calda para assegurar que não ocorreram incompatibilidades (GAZZIERO et al., 2021; RAMOS et al., 1998).

Tabela 5. Avaliação das características dos herbicidas individuais com volume de aplicação 200 L ha⁻¹.

TRATAMENTO	INTERAÇÕES NA CALDA NOS TEMPOS (minutos)					2h		6h		24h	
	0	1	5	10	30	R	A	R	A	R	A
AXIAL®	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
BASAGRAN®	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
HUSSAR®	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
RAPTOR®	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
TOPIK®	C	C	C	C	C	D	C	D	C	D	D
TRICEA®	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
ZARTAN®	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
DMA®	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C

^C Compatível; ^D Ocorrência de sedimentação; R: avaliado antes de agitação; A: avaliado após 10 minutos de repouso após agitação.

Figura 1. (A) Avaliação individual do herbicida Topik® 2 horas após o preparo da calda (APC); (B) 6 horas APC; (C) 24 horas APC com simulação de volume de calda de 200 L ha⁻¹.



Fonte: Autor (2024).

4.1.2 Ensaio das misturas de herbicidas no volume de aplicação de 200 L ha⁻¹

Observou-se a ocorrência de sedimentação das misturas Tricea® (pinoxulan) + Zartan® (metsulfuron) e Tricea® + DMA® a partir dos 5 minutos APC e a partir dos 30 minutos APC, respectivamente. É importante destacar que para os demais momentos de avaliação não houve retorno a homogeneidade da calda como observada antes dos 5 e 30 minutos APC (Tabela 6.)

Tabela 6. Interação de misturas de herbicidas no volume de aplicação de 200 L ha⁻¹.

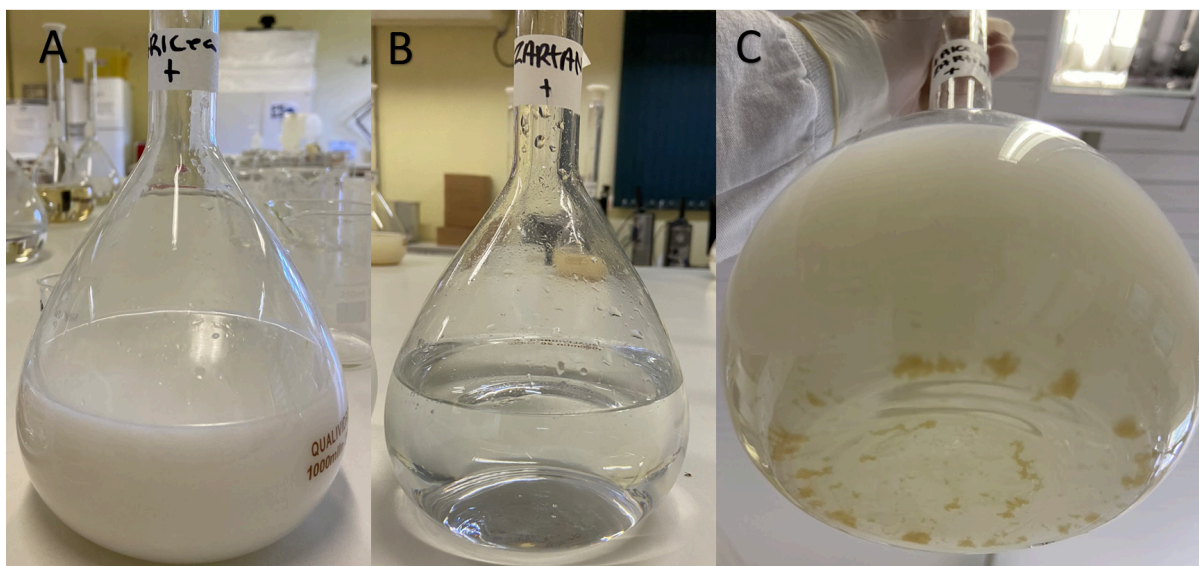
TRATAMENTO	INTERAÇÕES NA CALDA NOS TEMPOS (minutos)					2h		6h		24h	
	0	1	5	10	30	R	A	R	A	R	A
TOPIK® + ZARTAN®	C	C	C	C	C	C	C	D	C	D	C
TOPIK® + BASAGRAN®	C	C	C	C	C	C	C	D	C	D	C
TOPIK® + DMA®	C	C	C	C	C	C	C	D	C	D	C
AXIAL® + ZARTAN®	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
AXIAL® + BASAGRAN®	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
AXIAL® + DMA®	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
TRICEA® + DMA®	C	C	C	C	D	D	D	D	D	D	D
TRICEA® + ZARTAN®	C	C	D	D	D	D	D	D	D	D	D
HUSSAR® + AXIAL®	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
HUSSAR® + TOPIK®	C	C	C	C	C	D	C	D	C	D	C
RAPTOR® + AXIAL®	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
RAPTOR® + TOPIK®	C	C	C	C	D	D	C	D	C	D	D
DMA® + ZARTAN®	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C

^C Compatível; ^D Ocorrência de sedimentação; R: avaliado antes de agitação; A: avaliado após 10 minutos de repouso após agitação.

Após analisar as misturas observou-se que o Tricea® pode ser o responsável pela ocorrência de sedimentação, mas quando avaliado individualmente, não apresentou características de interação (Figura 2). O Tricea® é formulado como uma dispersão em óleo (OD), enquanto o Zartan® é um granulado dispersível (WG). No caso da formulação WG, é fundamental adotar precauções específicas durante o preparo da calda, para assegurar uma diluição completa e uma dispersão uniforme, exigindo agitação eficiente. Caso contrário, podem ocorrer reações de incompatibilidade, como sedimentação, comprometendo a eficácia da aplicação (GAZZIERO, 2021).

Portanto, a causa provável dessa incompatibilidade pode ser atribuída às diferentes formulações dos produtos. A formulação OD, devido à sua base oleosa, pode apresentar instabilidade quando em repouso, afetando a uniformidade da mistura. Por outro lado, a formulação WG requer uma diluição cuidadosa e agitação adequada para dispersão completa de suas partículas sólidas (WHITFORD et al., 2018). Desse modo, essa mistura é considerada incompatível do ponto de vista físico, visto que apresentou sedimentação contínua desde os 10 minutos APC.

Figura 2. (A) Avaliação do ensaio individual com o herbicida Tricea®; (B) Avaliação do ensaio individual com o herbicida Zartan® (C) Avaliação do ensaio de misturas com Tricea® + Zartan®, em simulação de volume de calda de 200 L ha⁻¹.



Fonte: Autor (2024).

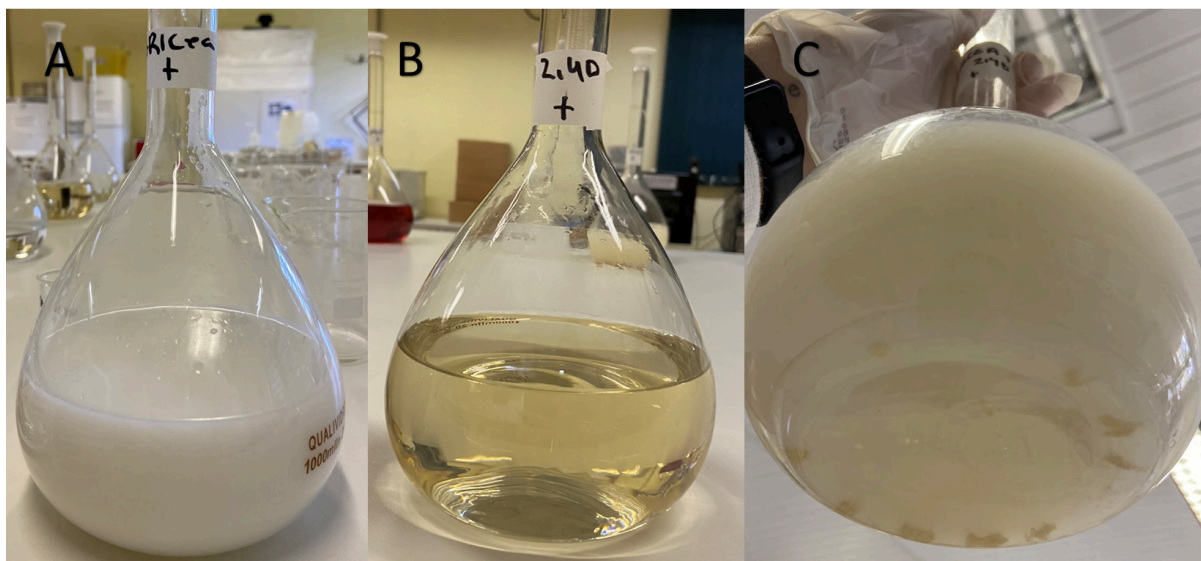
Como mencionado anteriormente, a mistura Tricea® + DMA® resultou em comportamento semelhante ao Tricea® + Zartan®, porém, quando consideradas as avaliações a partir dos 30 minutos APC (Figura 3). Os herbicidas DMA® e Zartan®, quando associados aos outros herbicidas, também apresentaram sedimentação, mas quando submetida a agitação, a estabilidade da calda retornava.

A sedimentação de partículas é um processo natural em líquidos que ocorre quando submetidos a períodos de repouso, tornando-se crucial a agitação no tanque de pulverização para garantir que as partículas se redispensem novamente, tornando a calda homogênea (CUNHA; MARTINS, 2022).

O herbicida DMA® possui como característica principal na sua formulação a alta solubilidade em água devido a sua formulação ser um concentrado solúvel (SL) e não necessitar de altas agitações (WHITFORD et al., 2018).

Portanto, esses fatores indicam que possivelmente o responsável pelas incompatibilidades das misturas Tricea® + DMA® pode estar relacionada às particularidades específicas das formulações em condições de repouso e agitação no tanque de pulverização. Porém a mesma se torna incompatível do modo de vista físico, sendo necessário mais estudos para se obter uma resposta mais concreta.

Figura 3. (A) Avaliação do ensaio individual com o herbicida Tricea®; (B) Avaliação do ensaio individual com o herbicida DMA® (C) Avaliação do ensaio de misturas com Tricea® + DMA®, em simulação de volume de calda de 200 L ha⁻¹.



Fonte: Autor (2024).

As misturas Raptor® (imazamox) + Topik® a partir dos 30 minutos APC, Hussar® (iodosulfuron) + Topik® após 2 horas APC, Topik® + Zartan®, Topik® + Basagran® (bentazon) e Topik® + DMA® após 6 horas APC apresentaram sedimentação. Após a agitação, as misturas recuperaram a homogeneidade na calda. Após 24 horas APC, as misturas apresentaram sedimentação novamente, mas se tornaram estáveis após agitação, exceto a mistura Raptor® + Topik®.

Segundo Petter et al. (2013), a presença de sedimentos no fundo do tanque de pulverização é um indicativo crucial da qualidade da solução aplicada no campo. Uma calda com sedimentos pode indicar falta de uniformidade na mistura ou inadequação na concentração dos ingredientes ativos, resultando na redução da eficácia no controle de plantas daninhas.

Portanto, é essencial realizar a agitação nos tanques de pulverização para que as partículas se dispersem adequadamente. Dessa forma, essas misturas possuem indicação de uso desde que se tenha cuidados para garantir a agitação contínua e adequada dos produtos dentro do tanque de pulverização.

As demais misturas ensaiadas (Axial® + Zartan®, Axial® + DMA®, Hussar® + Axial®, Raptor® + Axial® e DMA® + Zartan®) apresentaram estabilidade perfeita em todos os tempos, sendo recomendadas sem nenhuma ressalva. É importante frisar que há necessidade de atenção na agitação do tanque nas misturas que envolvam o herbicida Topik®. Pois, quando ensaiado individualmente o herbicida apresentou decantação a partir de 2 horas APC (Tabela 5) como foi discutido anteriormente.

4.2 Volume aéreo (10 L ha⁻¹)

4.2.1 Ensaio individual dos herbicidas no volume de aplicação de 10 L ha⁻¹

A Tabela 7 demonstra o comportamento do ensaio individual dos herbicidas com o volume de aplicação de 10 L ha⁻¹. É importante ressaltar que não existem recomendações de bula e nem dados suficientes para o volume de aplicação de 10 L ha⁻¹, exceto no caso do Tricea®, que, conforme sua bula não é recomendado a aplicação via aeronaves remotamente pilotadas (drones) devido a falta de informações técnicas que suporte esta modalidade (CORTEVA, 2022).

De acordo com Gazziero et al. (2013), o volume de aplicação interfere diretamente na concentração dos herbicidas, podendo afetar a solubilidade dos

produtos. Ou seja, a diminuição do volume de calda sem o conhecimento prévio dos produtos pode comprometer essa solubilidade e resultar em incompatibilidades físico-químicas.

Tabela 7. Avaliação das características dos herbicidas individuais com volume de aplicação 10 L ha⁻¹

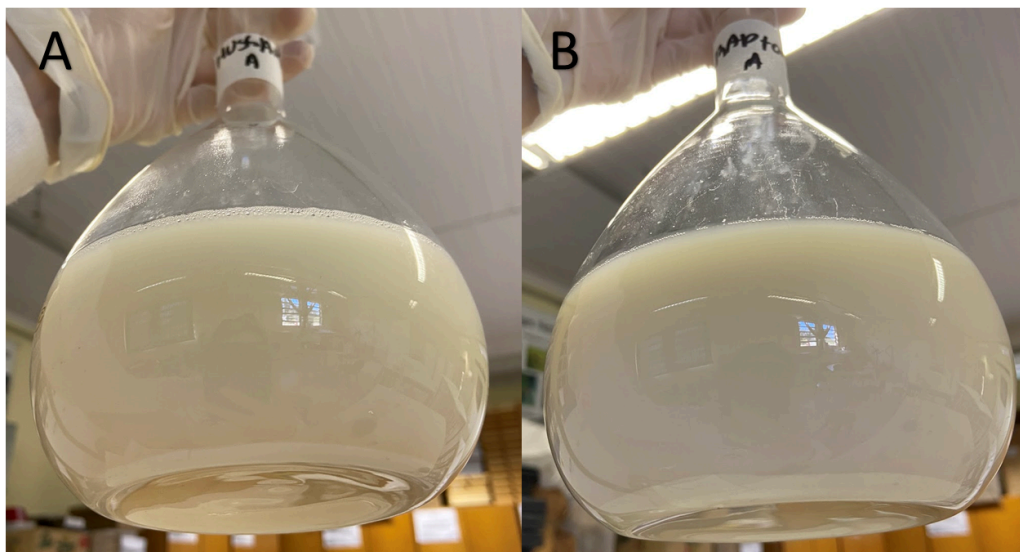
TRATAMENTO	INTERAÇÕES NA CALDA NOS TEMPOS (minutos)					2h		6h		24h	
	0	1	5	10	30	R	A	R	A	R	A
AXIAL®	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
BASAGRAN®	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
HUSSAR®	C	C	C	D	D	D	D	D/S	D	D/S	D
RAPTOR®	C	C	C	D	D	D/S	D	D/S	D	D/S	D
TOPIK®	C	C	C	D	D	D	C	D	C	D	D
TRICEA®	C	C	C	C	C	D	D	D	D	D	D
ZARTAN®	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
DMA®	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C

^C Compatível; ^D Ocorrência de sedimentação; ^S Ocorrência de separação de fases; R: avaliado antes de agitação; A: avaliado após 10 minutos de repouso após agitação.

Os herbicidas Axial® (Pinoxaden), Basagran® (Bentazona), Zartan® e DMA® apresentaram estabilidade perfeita em todos os tempos analisados. Já os herbicidas Hussar® e Raptor® apresentaram características de sedimentação contínua e separação de fases quando a calda estava em repouso. Ambos começaram a sedimentar nos primeiros 10 minutos APC e, mesmo após a agitação, permaneceram sedimentados (Figura 3).

Diante disso, esses herbicidas não são recomendados para aplicação, pois resultaram em sedimentação desde os 10 minutos APC, e mesmo após agitação a presença de sedimentação se manteve.

Figura 3. (A) Ocorrência de sedimentação do Hussar® 10 minutos APC; (B) Ocorrência de sedimentação do Raptor® 10 minutos APC.

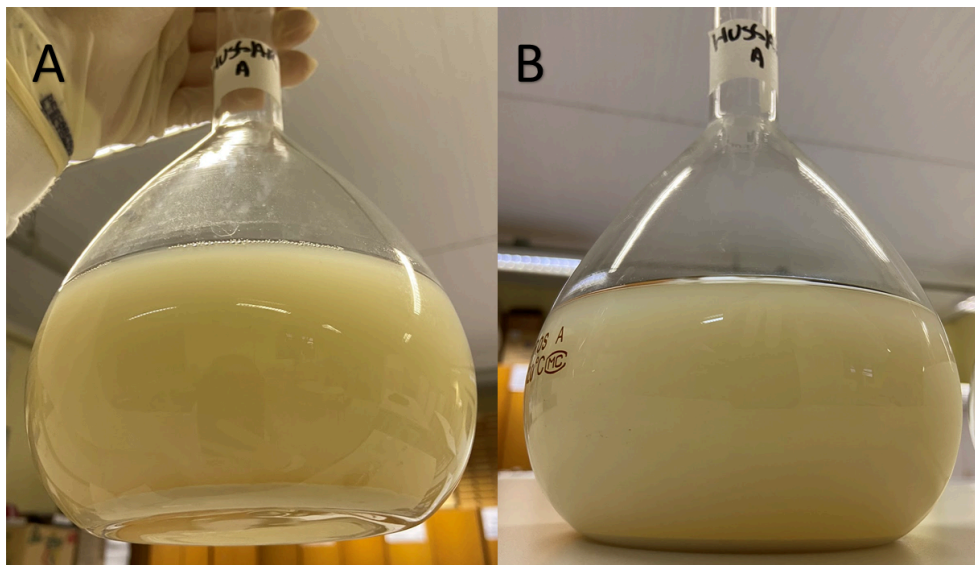


Fonte: Autor (2024).

O Hussar® apresentou sedimentação associada à separação de fases a partir das 6 horas APC (Figura 4), após a agitação, apenas a sedimentação persistiu, e a separação de fases ocorreu gradualmente nas próximas 24 horas. O mesmo ocorreu para o Raptor®, porém a sedimentação associada à separação de fases iniciou a partir das 2 horas APC, mas, após a agitação, a sedimentação permaneceu, e a separação de fases ocorreu gradativamente enquanto a calda estava em repouso, permanecendo assim por 6 e 24 horas (Figura 5).

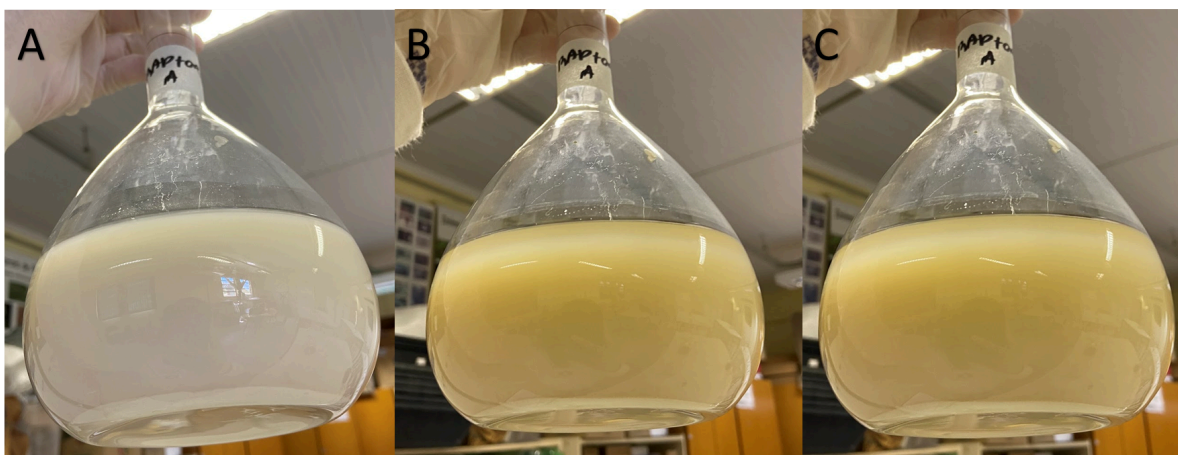
Oliveira et al. (2013) relata que a separação de fases mesmo após agitação é um indicativo de incompatibilidade, não sendo recomendada para aplicação, por poder obstruir os filtros e os bicos de pulverização, além da perda na eficácia dos produtos. Portanto, esses herbicidas não possuem recomendações de aplicações devido à ocorrência de sedimentação e separação de fases.

Figura 4. (A) Ocorrência de sedimentação associada a separação de fases no Hussar 6 horas APC; (B) Ocorrência de sedimentação associada a separação de fases no Hussar 24 horas APC.



Fonte: Autor (2024).

Figura 5. (A) Ocorrência de sedimentação associada a separação de fases do Raptor® 2 horas APC; (B) Ocorrência de sedimentação associada a separação de fases do Raptor® 6 horas APC; (C) Ocorrência de sedimentação associada a separação de fases do Raptor® 24 horas APC.



Fonte: Autor (2024).

O herbicida Tricea® continuou a sedimentar constantemente após 2, 6 e 24 horas, mesmo após a agitação a calda não se estabilizou. Diante disso, o recomendado seria não aplicar. Assim, os herbicidas Hussar® e Raptor® (10

minutos APC) e Tricea® (2 horas APC) necessitam de grande atenção para a agitação da calda. Para os princípios de avaliação adotados neste trabalho, os herbicidas (Hussar®, Raptor® e Tricea®) não apresentaram compatibilidade física e portanto, não devem ser utilizados no volume de aplicação de 10 L ha⁻¹.

O Topik® apresentou sedimentação a partir dos 10 minutos APC permanecendo até as 2 horas, após agitação a calda se manteve estável, mas ocorreu sedimentação gradativa novamente nos tempos de 6 e 24 horas se mantendo estável apenas após agitação, mas com o passar das horas ocorria a sedimentação. A sedimentação observada já era esperada, pois em relação ao volume de calda de 200 L ha⁻¹ onde iniciou 2 horas APC, neste volume de calda (10 L ha⁻¹), ocorreu de forma mais acelerada. Portanto, a agitação contínua neste caso é fundamental, a fim de evitar ocorrência de sedimentação no fundo do tanque pulverizador e obter uma melhor eficiência no controle das plantas daninhas.

4.2.2 Ensaio das misturas dos herbicidas no volume de aplicação de 10 L ha⁻¹

Ao observar a Tabela 8 as misturas que se apresentaram compatíveis fisicamente sem nenhuma ressalva foram apenas envolvendo os herbicidas Axial® + Zartan®, Axial® + DMA® e DMA® + Zartan®. Em comparação com o volume de calda de 200 L ha⁻¹ pode-se observar muitos problemas como separação de fases, sedimentação e formação de espuma, problemas estes, que não tinham sido detectados no volume maior. O fator que pode estar relacionado é o volume de calda utilizado, visto que a diminuição do volume de calda afeta a concentração dos produtos, dificultando a solubilidade (OLIVEIRA et al., 2013). Por exemplo, a mistura entre os herbicidas Axial® + Basagran® que é recomendada, porém, logo no preparo de calda (0 e 1 minuto APC) apresentou formação de espuma após o processo de agitação da calda, dispersando-as após curto período de repouso.

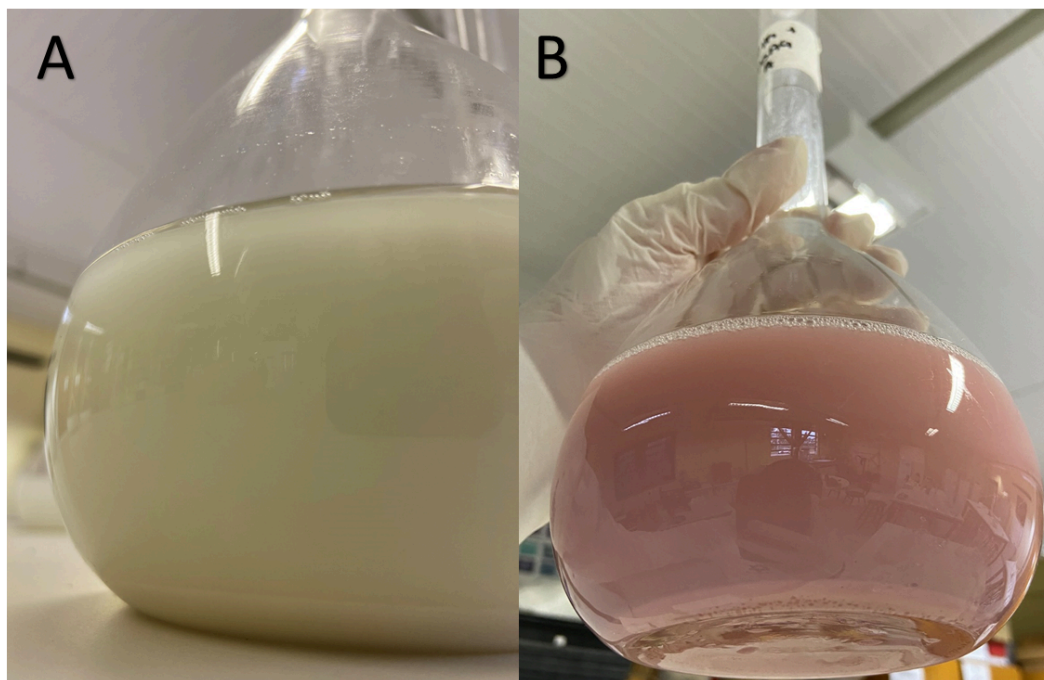
Tabela 8. Interação de misturas de herbicidas no volume de aplicação de 10 L ha⁻¹

TRATAMENTO	INTERAÇÕES NA CALDA NOS TEMPOS (minutos)					2h		6h		24h	
	0	1	5	10	30	R	A	R	A	R	A
TOPIK® + ZARTAN®	C	C	C	D	D	D/S	D	D/S	D	D/S	D
TOPIK® + BASAGRAN®	C	C	C	D	D/S	D/S	D/S	D/S	D/S	D/S	D/S
TOPIK® + DMA®	C/E	C	D/S	D/S	D/S	D/S	D	D/S	D	D/S	D
AXIAL® + ZARTAN®	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
AXIAL® + BASAGRAN®	C/E	C/E	C	C	C	C	C	C	C	C	C
AXIAL® + DMA®	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
TRICEA® + DMA®	C/E	E/D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
TRICEA® + ZARTAN®	C	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
HUSSAR® + AXIAL®	C	C	D	D	D	D	C	D	C	D	C
HUSSAR® + TOPIK®	C	C	D	D	D	D	D	D/S	D	D/S	D
RAPTOR® + AXIAL®	C	C	C	C	C	D	C	D	C	D	C
RAPTOR® + TOPIK®	D/S	D/S	D/S	D/S	D/S	D/S	D/S	D/S	D/S	D/S	D/S
DMA® + ZARTAN®	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C

^c Compatível; ^E Formação de espuma; ^D Ocorrência de sedimentação; ^S Ocorrência de separação de fases; R: avaliado antes de agitação; A: avaliado após 10 minutos de repouso após agitação.

As misturas Topik® + Zartan®, Topik® + Basagran® apresentaram sedimentação a partir dos 10 minutos APC. Topik® + Basagran® 30 minutos APC apresentou sedimentação associada com separação de fases, mesmo após agitação a calda não retornou a ficar homogênea. Já Topik® + Zartan® demonstrou sedimentação e separação de fases 2 horas APC, após agitação a sedimentação se manteve e a separação de fases retornou quando a calda estava em repouso (6 e 24 horas APC) (Figura 6). Portanto, essas misturas não são recomendáveis para aplicação utilizando esse volume de calda, pois apresentaram incompatibilidade com 10 minutos APC.

Figura 6. (A) Ocorrência de sedimentação e separação de fases na mistura Topik® + Zartan® 2 horas APC; (B) Ocorrência de sedimentação e separação de fases na mistura Topik® + Basagran® 30 minutos APC.

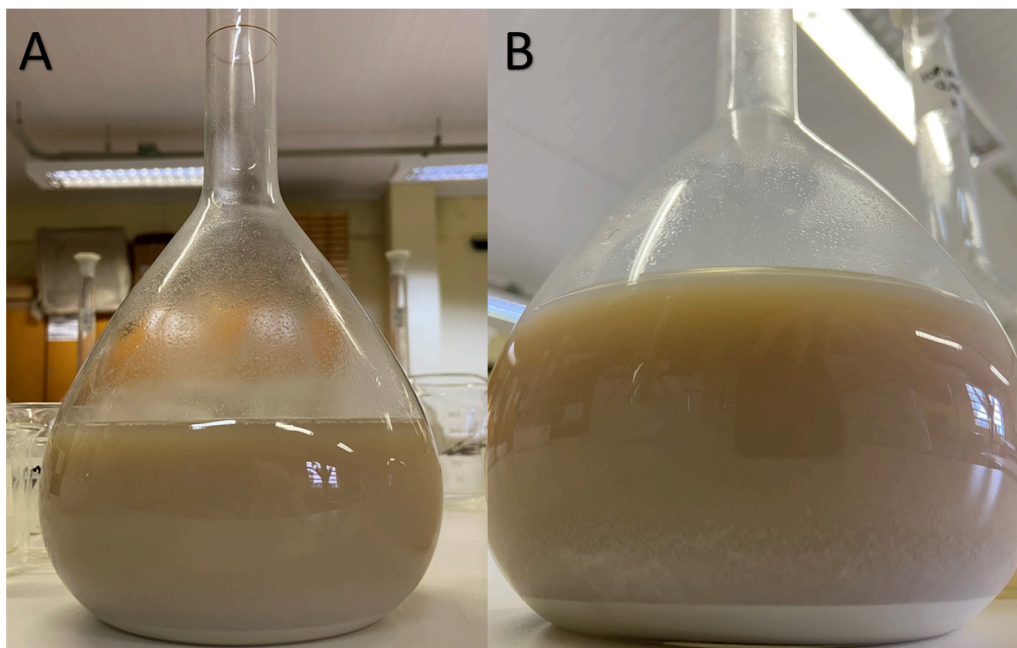


Fonte: Autor (2024).

A mistura Topik® + DMA® após agitação apresentou espuma mas se dispersou em um curto espaço de tempo, ficando homogênea 1 minuto APC. Mas 5 minutos APC apresentou sedimentação e separação de fases, permanecendo até 2 horas APC (Figura 7), após agitação a sedimentação se manteve e a separação de fases retornou quando a calda ficou em repouso, o mesmo se repetiu para as 6 e 24 horas APC. O Hussar® + Topik® apresentaram sedimentação contínua após 5 minutos APC, 6 horas APC ocorreu separação de fases associada a sedimentação, após a agitação apenas a sedimentação permaneceu, o mesmo se repetiu para as 24 horas APC (Figura 8). Desse modo, essas misturas são incompatíveis, não sendo recomendadas para aplicação.

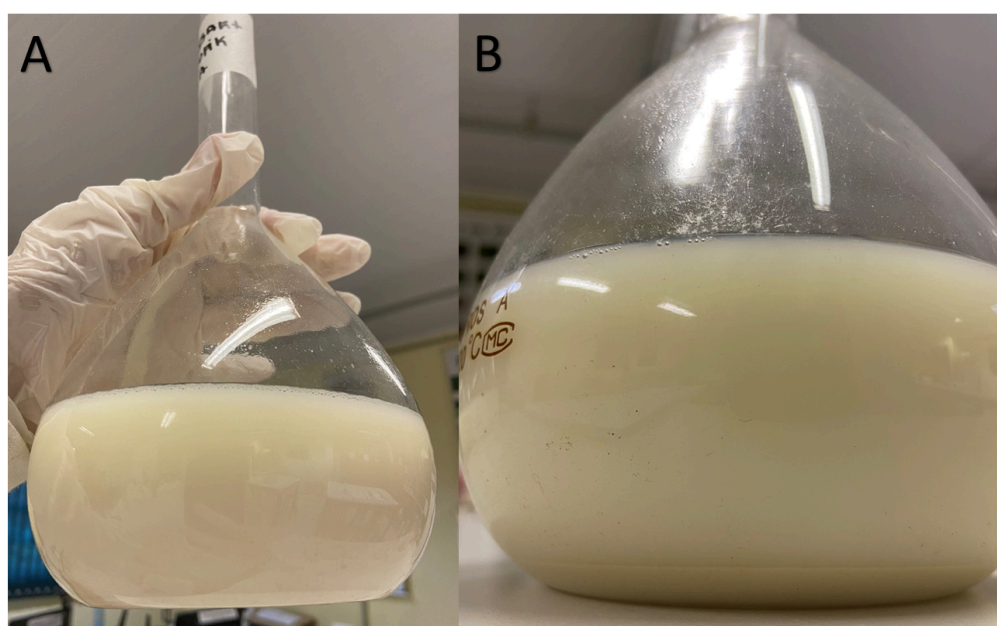
Hussar® + Axial® apresentaram comportamento semelhante as misturas (Topik® + DMA® e Hussar® + Topik®), apresentando sedimentação contínua desde 5 minutos APC, mas após agitação a calda se manteve estável, mas quando em repouso a sedimentação retornava, o mesmo processo se repetiu para as 6 e 24 horas APC. Portanto, a recomendação para essa mistura é agitação contínua após 5 minutos APC.

Figura 7. (A) Ocorrência de sedimentação e separação de fases na mistura Topik® + DMA® 5 minutos APC; (B) Ocorrência de sedimentação e separação de fases na mistura Topik® + DMA® 2 horas APC.



Fonte: Autor (2024).

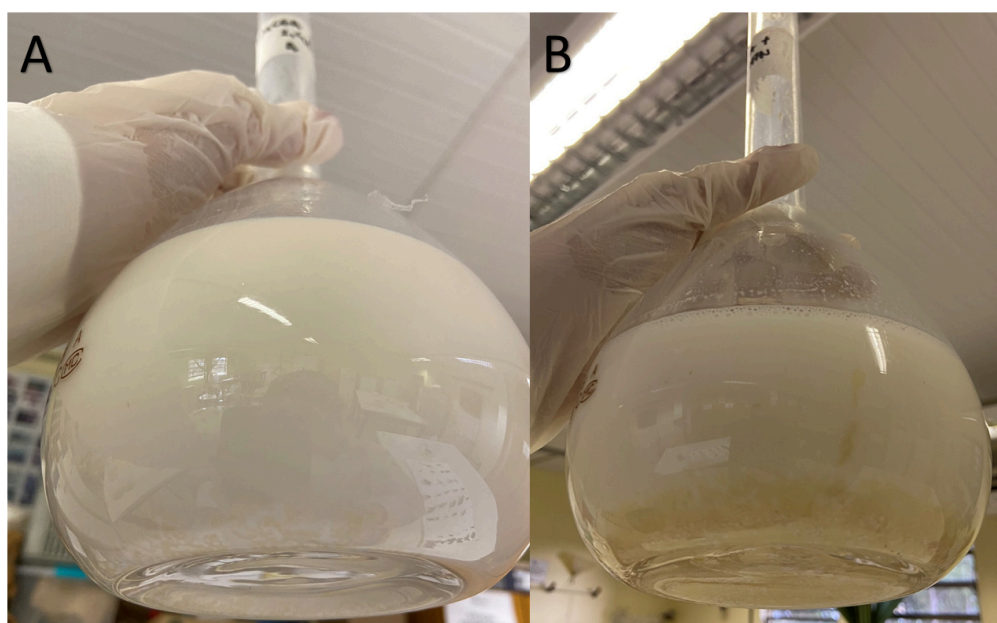
Figura 8. (A) Ocorrência de sedimentação e separação de fases na mistura Hussar® + Topik® 5 minutos APC; (B) Ocorrência de sedimentação e separação de fases na mistura Hussar® + Topik® 6 horas APC.



Fonte: Autor (2024).

As misturas Tricea® + DMA® e Tricea® + Zartan® apresentaram sedimentação contínua a partir dos 5 minutos APC, não voltando a ser homogêneas após agitação (Figura 9). Sendo assim, as misturas com esses herbicidas não são recomendadas, pois as interações podem ser observadas 1 minuto após o preparo da calda.

Figura 9. (A) Ocorrência de sedimentação na mistura Tricea® + DMA® 5 minutos APC; (B) Ocorrência de sedimentação na mistura Tricea® + Zartan® 5 minutos APC.



Fonte: Autor (2024).

Raptor® + Axial® apresentaram sedimentação a partir das 2 horas APC, após agitação a calda retornava a ser homogênea, ou seja, a presença de sedimentação são em períodos de repouso. O mesmo ocorreu para as 6 e 24 horas APC (Figura 10). Sendo assim a mistura pode ser recomendada para aplicação desde que possua agitação contínua a partir dos 30 minutos APC.

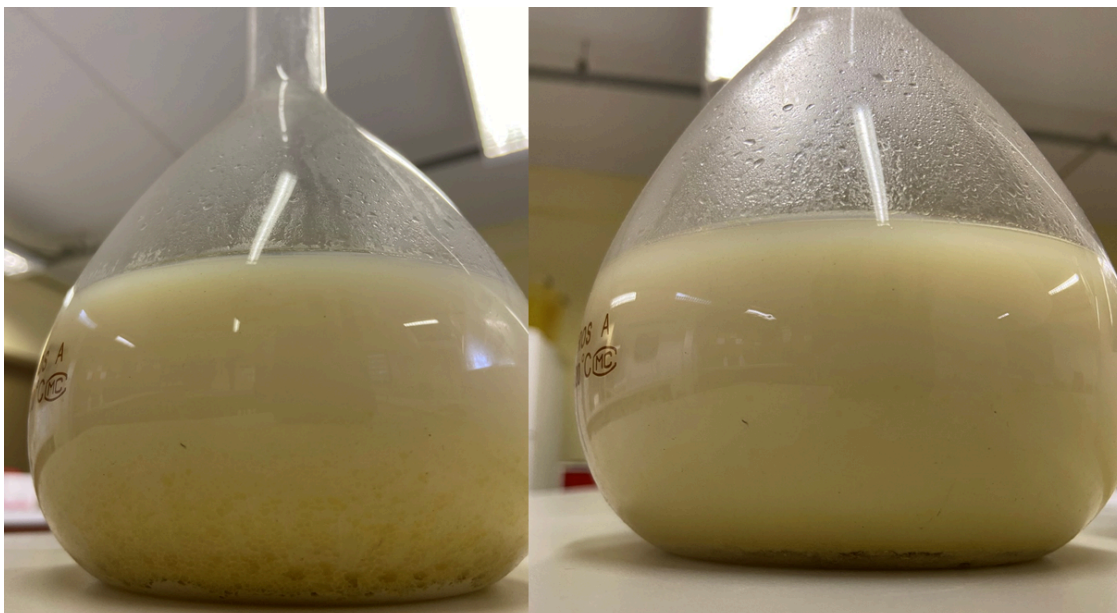
O Raptor® + Topik® apresentaram separação de fases associada a sedimentação, imediatamente após a agitação, sendo totalmente incompatível (Figura 11).

Figura 10. (A) Ocorrência de sedimentação na mistura Raptor® + Axial® 2 horas APC.



Fonte: Autor (2024).

Figura 11. Ocorrência de sedimentação e separação de fases na mistura Raptor® + Topik® em todos os tempos.



Fonte: Autor (2024).

4.3 Potencial hidrogeniônico das caldas (pH) e constante de dissociação eletrolítica (pKa) dos herbicidas

O pH da calda é um indicador de compatibilidade ou incompatibilidade entre produtos, que varia numa escala de 0 a 14. Em casos de incompatibilidade, pode interferir diretamente na eficiência da pulverização, ou seja, quando o pH da mistura está próximo da neutralidade, há um aumento na quantidade de cátions livres na solução, os quais podem se ligar aos ingredientes ativos dispersos. Podendo resultar na formação de precipitados, acelerando a degradação do produto e reduzindo a quantidade disponível de ingrediente ativo, o que compromete a eficácia biológica do herbicida (PETTER et al., 2013; COSTA et al., 2020).

A solubilidade dos herbicidas iônicos varia com o pH da solução. A ionização dos ácidos é determinada pelo seu pKa, que é definido pelo pH do meio, na qual 50% das moléculas estão na forma não dissociada e 50% na forma dissociada. Quando o pH da solução é aumentado em uma unidade além do pKa do ácido fraco, as moléculas estarão na forma favorecida pela alteração do pH (CHRISTOFFOLETI et al., 2008).

Conforme demonstrado na Tabela 9, os valores de pH das misturas nos volumes de calda de 200 e 10 L ha⁻¹ ultrapassaram os valores de pKa (Tabela 2), indicando que a maioria das moléculas está na forma dissociada, com uma proporção menor na forma não dissociada. Isso resulta no aumento da solubilidade e favorece a eficácia da ação dos herbicidas.

Em relação ao pH das misturas, aquelas que apresentaram pH próximo à neutralidade no volume de calda de 200 L ha⁻¹ foram: Topik® + Basagran®, Axial® + Basagran®, Axial® + DMA®; as demais misturas mostraram pH ácido. No volume de calda de 10 L ha⁻¹, as misturas com pH próximo ou neutro foram: Topik® + Basagran®, Topik® + DMA®, Axial® + DMA®, Tricea® + DMA®, Hussar® + Axial®. Axial® + Basagran® apresentou pH alcalino, enquanto as outras misturas mantiveram pH ácido.

Tabela 9. Valores de pH das caldas em mistura.

Tratamento	pH	
	Volume de calda 200 L/ha	Volume de calda 10 L/há
TOPIK® + ZARTAN®	5,9	4,7
TOPIK® + BASAGRAN®	6,4	7,1
TOPIK® + DMA®	5,6	6,5
AXIAL® + ZARTAN®	5,2	5,0
AXIAL® + BASAGRAN®	6,9	8,7
AXIAL® + DMA®	6,4	7,3
TRICEA® + DMA®	5,6	6,7
TRICEA® + ZARTAN®	5,4	5,5
HUSSAR® + AXIAL®	5,7	6,6
HUSSAR® + TOPIK®	5,9	5,8
RAPTOR® + AXIAL®	4,1	3,5
RAPTOR® + TOPIK®	4,1	3,5
DMA® + ZARTAN®	5,5	5,7

Fonte: Autor (2024).

A análise das misturas na Tabela 9 reflete resultados semelhantes aos da Tabela 10, onde os valores de pH excederam os valores de pKa. Os herbicidas Axial®, Basagran®, Hussar®, Zartan® e DMA® apresentaram pH próximo ou neutro no volume de calda de 200 L ha⁻¹. Os demais herbicidas demonstraram pH ácido, sem presença de valores alcalinos. No volume de calda de 10 L ha⁻¹, apenas Hussar® e Tricea® apresentaram pH próximo ou neutro, enquanto Basagran® apresentou pH alcalino, os demais herbicidas apresentaram pH ácido.

Tabela 10. Valores de pH das caldas dos herbicidas ensaiados individualmente.

Tratamento	pH	
	Volume de calda 200 L/ha	Volume de calda 10 L/há
AXIAL®	6,1	5,0
BASAGRAN®	7,7	8,7
HUSSAR®	6,8	7,7
RAPTOR®	4,2	3,7
TOPIK®	5,6	4,9
TRICEA®	5,9	6,2
ZARTAN®	7,0	5,4
DMA®	6,9	6,4

Fonte: Autor (2024).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o volume de aplicação de 200 L ha⁻¹, no ensaio individual apenas o Topik® demonstrou sedimentação após longos períodos de repouso, sugerindo a necessidade de um sistema de agitação contínua. Os demais herbicidas mostraram-se compatíveis.

Em relação às misturas no volume de 200 L ha⁻¹ o Tricea® + Zartan® e Tricea® + DMA® o recomendado é não aplicar. Para as misturas Topik® + Zartan®, Topik® + Basagran®, Topik® + DMA®, Hussar® + Topik®, Raptor® + Topik® o ideal é manter agitação contínua após 30 minutos do preparo da calda, permitindo que sejam aplicadas.

Para o volume de aplicação de 10 L ha⁻¹ no ensaio individual, os herbicidas Hussar®, Raptor® e Tricea® não são recomendados para aplicação visto que apresentaram incompatibilidade 10 minutos APC, sem retorno da homogeneidade. E o Topik® o recomendado seria agitação contínua a partir dos 10 minutos APC.

Já as misturas no volume de aplicação de 10 L ha⁻¹ Topik® + Zartan®, Topik® + Basagran®, Topik® + DMA®, Tricea® + DMA®, Tricea® + Zartan®, Hussar® + Topik® e Raptor® + Topik® demonstraram incompatibilidade física em curtos períodos de tempo, não sendo recomendadas para aplicação. Hussar® + Axial® e Raptor® + Axial® podem ser recomendadas desde que possua agitação contínua após 5 e 30 minutos APC.

Portanto, sugere-se a realização de novos estudos com o objetivo de gerar mais informações, visto que, atualmente há poucas informações na literatura e por ocorrer incompatibilidades físicas em grande parte das misturas dos herbicidas, principalmente em volumes de calda menores.

REFERÊNCIAS

ABBAS, T. et al. Identifying optimum herbicide mixtures to manage and avoid fenoxaprop-p-ethyl resistant *Phalaris minor* in wheat. **Planta Daninha**, v. 34, p. 787-794, 2016.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13875:2014**. Agrotóxicos e afins – Avaliação de compatibilidade físico-química. Rio de Janeiro: 2014. 12 p.

AGROFIT. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários**. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos/agrofit>> Acesso em: 10 mai. 2024.

ANTUNIASSI, U.; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. 2ed, Passo Fundo: Aldeia Norte, Botucatu, 2019. 373 p.

AZEVEDO, L. A. S. **Mistura de tanque de produtos fitossanitários: Teoria e prática**. 1ed, Rio de Janeiro: IMOS Gráfica e Editora, 2015, 230 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa nº 40, de 11 de outubro de 2018. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 11 de out. 2018. Seção 1, p. 3.

CORTEVA. **Bula do produto Tricea®**. Disponível em: https://www.corteva.com.br/content/dam/dpagco/corteva/la/br/pt/files/DOC-TRICEA_FISPQ-Corteva-LA_BR-V2.pdf. Acesso em: 08 jun. 2024.

SEAPI. Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação. **Safra de Trigo - 2023**. Disponível em: <<https://www.agricultura.rs.gov.br/safra-de-trigo-em-2023-deve-ser-a-segunda-maior-do-rs>> Acesso em: 10 jun. 2024

CHRISTOFFOLETI, P. J. et al. **Dinâmica dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: BASF, 2008. 85p.

COSTA, L. L. et al. Compatibilidade Físico-Química de diferentes doses e misturas de herbicidas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 19, n. 3, p.713-1-8, 2020. Disponível em: <<https://www.rbherbicidas.com.br/index.php/rbh/article/view/713>>. Acesso em: 15 mai. 2024.

DA CUNHA, L. P.; MARTINS, K. V. **Avaliação de compatibilidade de herbicida**. Perquirere, v. 19, n. 2, p. 16-35, 2022.

FEHNDRICH, S.P. **Avaliação do uso e da estabilidade físico-química de misturas de herbicidas em tanque**. Orientador: Glauber Moncon Fipke. 2021. 60p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Agronomia), Universidade Federal do Pampa, Curso de Agronomia, Itaqui, 2021.

GAZZIERO, D. L. P. et al. **Manual técnico para subsidiar a mistura em tanque de agrotóxicos e afins**. Londrina: Embrapa Soja, 2021. 23 p. - (Documentos / Embrapa Soja, ISSN 2176-2937; n. 437).

GAZZIERO, D. L. P. Misturas de agrotóxicos em tanque nas propriedades agrícolas do Brasil. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 33, p. 83-92, 2015.

HEAP, I. J. A. M. **The international survey of herbicide resistant weeds**, 2010. Disponível em: <<http://www.weedscience.org>> Acesso em: 16 de jun. de 2024.

HEWIT, H. G. Fungicides in crop protection. **Cambridge: CAB International**, 1998. 221 p.

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

LAMEGO, F. P. et al. Habilidade competitiva de cultivares de trigo com plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 31, p. 521-531, 2013.

LYR, H. Modern selective fungicides: properties, applications, mechanisms of action. **Edt. Gustav Fischer Verlag**, Jena. 1995. 595 p.

MAPA. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Formulações de agrotóxicos – terminologia**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos/agroquimicos-fiscalizacao/publicacoes-agroquimicos/copia_de_7108f8c23f739060e040a8c075020f36.xls/view> Acesso em: 16 de jun. de 2024.

MENDES, K. F.; DA SILVA, A. A. **Plantas daninhas: herbicidas**. Oficina de Textos, 2023.

OLIVEIRA, R. B. et al. Formulações e misturas de herbicidas em tanque. In: BARROSO, A. A. M.; MURATA, A. T. **Matologia: estudos sobre plantas daninhas**. Jaboticabal: Fábrica da Palavra, 2021. 547 p.

OZKAN, H.E. Herbicide formulations, adjuvants, and spray drift management. In: SMITH, A. E. (ed.). **Handbook of weed management systems**. Georgia, Maecel Dexker, nc, 1995. p. 217-43.

PETTER, F. A. et al. Incompatibilidade física de misturas entre herbicidas e inseticidas. **Planta Daninha**, v. 30, p. 449-457, 2012.

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

PRISCO, R. C. B. **Formulações de inseticidas e raticidas**. Instituto Biológico. São Paulo, v. 71, n. 1, p. 93-96, 2009.

QUEIROZ, A. A.; MARTINS, J. A. S.; CUNHA, J. P. A. R. Adjuvantes e qualidade da água na aplicação de agrotóxicos. **Bioscience Journal**, v.24, p.8-19, 2008.

RAMOS, H. H.; DURIGAN, J. C. Efeito do armazenamento da calda na eficácia de herbicidas aplicados em: I. pós-emergência. **Planta Daninha**, v. 16, p.175-185, 1998.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. de. **Guia de herbicidas**. 7. ed. Londrina, 2018.

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

SINGH, S. S; PUNIA, Y. A.; HOODA, S. V. **Evaluation of carfentrazone-ethyl+ metsulfuron-methyl against broadleaf weeds of wheat**. 2011.

SPADONI, A. B. D. **Propriedades Físico-Químicas e Primórdios Da Perda de Estabilidade de Calda Inseticida em Misturas com Fungicidas e Adjuvantes**. 2019. Dissertação (Mestrado em agronomia). Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2019.

STUMM, W.; MORGAN, J. J. **Aquatic chemistry: Chemical equilibria and rates in natural waters**. 3. ed. New York: J. Wiley, 1996. 1022 p.

UNIVERSITY OF HERTFORDSHIRE. PPDB: **Pesticide Properties DataBase**. Disponível em: < <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/index.htm>>. Acesso em: 03 mar. 2023

WHITFORD, F. et al. **Avoid tank mixing errors. A guide to applying the principles of compatibility and mixing sequence**. Purdue University, 2018, 44 p.

ZIMDAHL, R. L. **Herbicide formulation**. Fundamentals of Weed Science. 5ed. Academic Press, p.501–509, 2018.