

MICHAEL PATRICK FERREIRA ALTHMAN

**CARACTERIZAÇÃO DO ESPECTRO DE GOTAS DE PONTAS COM E SEM
INDUÇÃO DE AR NA APLICAÇÃO DE PRODUTOS À BASE DE SUSPENSÃO
CONCENTRADA EM COMBINAÇÃO COM CINCO CLASSES DE ADJUVANTES**

Botucatu

2026

MICHAEL PATRICK FERREIRA ALTHMAN

**CARACTERIZAÇÃO DO ESPECTRO DE GOTAS DE PONTAS COM E SEM
INDUÇÃO DE AR NA APLICAÇÃO DE PRODUTOS À BASE DE SUSPENSÃO
CONCENTRADA EM COMBINAÇÃO COM CINCO CLASSES DE ADJUVANTES**

Tese de Doutorado, do Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola
apresentado à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp Câmpus de
Botucatu

Orientador: Prof. Dr. Ulisses Rocha
Antuniassi

Botucatu

2026

A467c

Althman, Michael Patrick Ferreira

Caracterização do espectro de gotas de pontas com e sem indução de ar na aplicação de produtos à base de suspensão concentrada em combinação com cinco classes de adjuvantes / Michael Patrick Ferreira Althman. -- Botucatu, 2026
61 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientador: Ulisses Rocha Antuniassi

1. diâmetro mediano volumétrico. 2. difração a laser. 3. jato plano. 4. propriedades físico-químicas. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

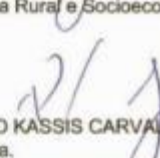
Título: CARACTERIZAÇÃO DO ESPECTRO DE GOTAS DE PONTAS COM E SEM INDUÇÃO DE AR
NA APLICAÇÃO DE PRODUTOS À BASE DE SUSPENSÃO CONCENTRADA EM
COMBINAÇÃO COM CINCO CLASSES DE ADJUVANTES

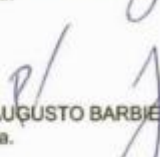
AUTOR: MICHAEL PATRICK FERREIRA ALTHMAN

ORIENTADOR: ULISSES ROCHA ANTUNIASI

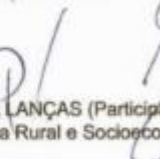
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Agrícola, pela
Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ULISSES ROCHA ANTUNIASI (Participação Presencial)
Departamento de Engenharia Rural e Socioeconomia / UNESP - Câmpus de Botucatu - FCA


Pesquisador Dr. FERNANDO KASSIS CARVALHO (Participação Virtual)
AgroEfetiva Serviços SS Ltda.


Pesquisador Dr. ALISSON AUGUSTO BARBIERI MOTA (Participação Virtual)
AgroEfetiva Serviços SS Ltda.


Prof. Dr. VITOR CARVALHO RIBEIRO DE ARAÚJO (Participação Virtual)
Departamento de Fitotecnia e Fitossanidade / Universidade Federal do Paraná


Prof. Dr. KLEBER PEREIRA LANÇAS (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Rural e Socioeconomia / UNESP / Câmpus de Botucatu - FCA

Botucatu, 05 de janeiro de 2026.

A Deus;
À minha noiva;
Aos meus avós;
Aos meus pais;
Aos meus irmãos e amigos.
Pelo amor, apoio e compreensão em todos os
momentos desta jornada.
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao meu avô Nivaldo (In memoriam), presença fundamental na formação de valores e de caráter. Seu exemplo de trabalho, honestidade e serenidade orientou escolhas decisivas e sustenta esta conquista.

Ao Professor Dr. Ulisses Rocha Antuniassi, pela orientação a, pela confiança constante e pelas oportunidades que abriram caminhos profissionais e maturidade pessoal. Agradeço pelo exemplo de ética e liderança, pelas conversas que ampliaram horizontes, pelo estímulo ao pensamento crítico e pela generosidade em compartilhar experiência além das atividades acadêmicas, influenciando escolhas de vida e de carreira.

Aos membros da banca pelas leituras criteriosas e contribuições, Dr. Fernando Carvalho, Dr. Alisson Mota, Prof. Dr. Vitor Araújo e Prof. Dr. Kleber Lanças.

Aos amigos do Grupo de Tecnologia de Aplicação da UNESP FCA pelo companheirismo no laboratório, nas coletas e nas discussões que fortaleceram a pesquisa, Gustavo Ramos, Danielle, Andreia, Lucas, Taynara, Marcelo, Maria Eduarda, Vicente e Miguel.

À Gleica, minha noiva, pelo apoio sem medir esforços, pela paciência nas ausências e pelo incentivo constante, por caminhar junto, celebrar cada passo e lembrar o propósito.

À Syngenta pela parceria institucional e pela viabilização de etapas importantes desta pesquisa, em especial ao Matheus Negrisoli e ao Rodrigo Marques, pelo apoio técnico e colaboração direta, com profissionalismo e respeito.

Ao Programa de Pós-Graduação Energia na Agricultura do Departamento de Engenharia Rural e a todos os funcionários e colaboradores da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” UNESP, Faculdade de Ciências Agronômicas FCA, Campus de Botucatu, pelo acolhimento e suporte.

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

RESUMO

A pulverização agrícola resulta da interação entre formulação, adjuvantes e configuração do equipamento, a qual pode modificar o diâmetro das gotas e as propriedades físico-químicas da calda. O objetivo deste trabalho foi quantificar o efeito de classes de adjuvantes representativas do uso agrícola polímero, óleo vegetal modificado, concentrado oleoso com alto teor de tensoativos, surfactante não iônico e organossiliconado, quando associadas a cinco produtos em suspensão concentrada, sobre parâmetros do espectro de gotas gerado por pontas de jato plano com e sem indução de ar. Em ambiente controlado, o espectro foi determinado por difração a laser, utilizando-se como variáveis resposta o diâmetro mediano volumétrico DV0,5, a fração volumétrica de gotas menores que 100 micrômetros V100 e a amplitude relativa. Empregaram-se as pontas AIXR11003 e XR11003 em delineamento fatorial duplo, com avaliação de efeitos principais e, especialmente, de interações entre produto e classe de adjuvante dentro de cada configuração de ponta. Verificou-se que a resposta aos adjuvantes foi dependente do produto em suspensão concentrada, evidenciando interação produto por adjuvante nos três parâmetros analisados. Em termos comparativos, o adjuvante polimérico promoveu, em maior número de combinações, deslocamento do DV0,5 para valores superiores aos do tratamento sem adjuvante e redução concomitante de V100, além de redução da amplitude relativa em parte das combinações, indicando distribuição mais concentrada. O concentrado oleoso com alto teor de tensoativos apresentou comportamento oposto em parte das formulações, com aumento de V100 e redução de DV0,5 em comparação ao controle, enquanto o organossiliconado exibiu efeito variável entre produtos, com mudanças em DV0,5 e V100 dependentes da formulação em suspensão concentrada. O óleo vegetal modificado e o surfactante não iônico apresentaram, em geral, respostas intermediárias quando comparados ao controle e às demais classes. Adicionalmente, as diferenças entre pontas condicionaram a magnitude dos efeitos observados, de modo que a interpretação das respostas aos adjuvantes deve ser realizada de forma estratificada por configuração de ponta. O efeito de adjuvantes sobre o espectro de gotas em caldas com produtos em suspensão concentrada não é generalizável por classe de adjuvante, devendo a seleção considerar a combinação específica produto adjuvante e a configuração de ponta, de modo a direcionar DV0,5, V100 e amplitude relativa ao padrão operacional desejado.

Palavras-chave: diâmetro mediano volumétrico; difração a laser; jato plano; propriedades físico-químicas.

ABSTRACT

Agricultural spraying results from the interaction among formulation, adjuvants, and sprayer configuration, which can modify droplet size and the physicochemical properties of the spray solution. This study aimed to quantify the effects of adjuvant classes representative of agricultural use, namely polymer, modified vegetable oil, oil concentrate with a high surfactant load, nonionic surfactant, and organosilicon, when combined with five suspension concentrated products, on spray droplet spectrum parameters generated by flat-fan nozzles with and without air induction. Under controlled conditions, the droplet spectrum was determined by laser diffraction, using as response variables the volumetric median diameter (DV0.5), the volumetric fraction of droplets smaller than 100 micrometers (V100), and the relative span. The AIXR11003 (air-induction) and XR11003 (non-air-induction) nozzles were evaluated in a two-factor factorial design, with assessment of main effects and interactions between product and adjuvant class within each nozzle configuration. The adjuvant response was found to depend on the suspension concentrate product, evidencing product-by-adjuvant interaction across all three parameters. Comparatively, the polymer adjuvant more frequently shifted DV0.5 to values higher than the no-adjuvant control and concomitantly reduced V100, and it reduced relative span in part of the combinations, indicating a more concentrated distribution. The oil concentrate with a high surfactant load showed the opposite behavior in part of the formulations, increasing V100 and reducing DV0.5 relative to the control, whereas the organosilicon exhibited product-dependent effects, with changes in DV0.5 and V100 contingent on the suspension concentrate formulation. Modified vegetable oil and nonionic surfactants generally produced intermediate responses compared with the control and the other classes. In addition, nozzle type conditioned the magnitude of the observed effects, such that interpretation of adjuvant responses should be stratified by nozzle configuration. Overall, adjuvant effects on droplet spectrum in spray solutions containing suspension concentrate products are not generalizable by adjuvant class, and selection should consider the specific product–adjuvant combination and nozzle configuration to steer DV0.5, V100, and relative span toward the desired operational target.

Keywords: flat-fan nozzle; laser diffraction; physicochemical properties; volume median diameter.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1	Tecnologia de aplicação	17
2.2	Adjuvantes	18
2.2.1	Óleo Vegetal Modificado.....	21
2.2.2	Concentrado de óleo com alto teor de surfactante	23
2.2.3	Surfactante Não-iônico	24
2.2.4	Polímeros	25
2.2.5	Silicone.....	27
3	FORMULAÇÕES DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS	29
3.1	Suspensão Concentrada (SC)	30
4	PONTAS DE PULVERIZAÇÃO E ESPECTRO DE GOTAS.....	31
5	MATERIAL E MÉTODOS.....	32
5.1	Local.....	32
5.2	Condução do Ensaio.....	32
5.3	Análise experimental.....	34
5.4	Análise do Espectro de Gotas.....	36
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
6.1	Efeito do modelo da ponta no perfil de gotas.....	37
6.2	Interação SC com adjuvante na ponta AIXR	39
6.2.1	Diâmetro mediano volumétrico (DV_{0,5}) – AIXR	39
6.2.2	Percentual volumétrico de gotas <100 µm – AIXR	41
6.2.3	Amplitude relativa (AR) – AIXR	43
6.3	Interação SC com adjuvante na ponta XR.....	45
6.3.1	Diâmetro mediano volumétrico (DV_{0,5}) — XR	45
6.3.2	Percentual volumétrico de gotas <100 µm — XR	47
6.3.3	Amplitude relativa (AR) — XR	49
7	CONCLUSÕES	52
	REFERÊNCIAS.....	53

1 INTRODUÇÃO

A aplicação de defensivos agrícolas é um dos pilares do manejo fitossanitário em diversas culturas, o que contribui para elevar a produtividade e reduzir perdas causadas por pragas, doenças e plantas daninhas. A interação entre ingrediente ativo, água e adjuvantes pode modificar as propriedades químicas e física da calda e impactar diretamente a eficácia do tratamento.

Entre as formulações disponíveis, a suspensão concentrada apresenta ampla adoção por reunir alta concentração de ingrediente ativo em partículas suspensas, estabilidade adequada e facilidade de manuseio, além de reduzir o uso de solventes orgânicos, o que favorece a segurança do operador e mitiga impactos ambientais.

Essa mesma propriedade de suspensão pode impor desafios à aplicação, uma vez que a estabilidade e a homogeneidade da calda dependem de diversos fatores, como agitação, qualidade da água e compatibilidade entre os componentes, o que influencia no espectro de gotas e na uniformidade da deposição. Nessas condições, o uso de adjuvantes não é obrigatório; contudo, é prática frequente e, quando tecnicamente indicado, pode aprimorar a qualidade e o desempenho da calda.

A seleção criteriosa do tipo e da dose torna-se determinante para assegurar a eficiência e a uniformidade na distribuição dos componentes inseridos na calda, na fragmentação desta e na formação da gota, além da subsequente deposição das gotas sobre o alvo.

Os adjuvantes são empregados com a finalidade de modificar propriedades físico-químicas e interfaciais da calda; entretanto, seus efeitos dependem diretamente da composição química e do mecanismo de ação de cada formulação, podendo, conforme o caso, ajustar parâmetros como molhabilidade, espalhamento, retenção e, em determinados contextos, a penetração nos tecidos vegetais.

Além disso, determinadas classes podem influenciar o espectro de gotas produzido sob uma mesma combinação de ponta e pressão, alterando a distribuição do tamanho de gotas. Assim, a decisão de uso deve considerar os objetivos do tratamento, o modelo de ponta e a pressão de trabalho, as características do produto e da água de preparo, bem como as condições meteorológicas, de modo a alinhar a classe de tamanho de gotas ao alvo biológico e reduzir riscos de deriva e perdas por evaporação.

Além de alterar a deposição e a absorção, os adjuvantes, dependendo da sua natureza, podem interferir no pH, condutividade elétrica, solubilidade, compatibilidade, viscosidade e densidade, variáveis que influenciam a estabilidade da mistura e a biodisponibilidade do ingrediente ativo. A escolha inadequada pode comprometer a eficiência e elevar o risco de efeitos indesejados.

Diante dos avanços na formulação e na tecnologia de aplicação, cresce a necessidade de personalizar a calda ao contexto de ativo, adjuvante, cultura, equipamento e ambiente. A avaliação do comportamento de cada classe de adjuvantes favorece um manejo mais racional e eficiente dos defensivos. Esta pesquisa tem como objetivo caracterizar o espectro de gotas, em diferentes classes de adjuvantes combinadas a produtos em suspensão concentrada e avaliar sua influência no espectro de gotas gerado por pontas de pulverização com e sem indução de ar.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Tecnologia de aplicação

A aplicação eficiente de defensivos agrícolas é um dos desafios mais importantes da agricultura, pois afeta diretamente a produtividade das culturas e a sustentabilidade do setor. Esse processo envolve a escolha adequada de equipamentos, ajustes operacionais e uso correto dos produtos, de modo a assegurar que o ingrediente ativo atinja o alvo com máxima eficiência (Azevedo; Freire, 2006).

Entre os fatores que influenciam esse desempenho destacam-se as características do alvo, a configuração operacional, as condições meteorológicas, o produto pulverizado e os recursos humanos, componentes essenciais de uma abordagem integrada para otimizar os resultados no campo (Antuniassi; Boller, 2019).

Os adjuvantes surgem como ferramentas fundamentais para aumentar a eficiência da pulverização, principalmente em formulações na forma de suspensão concentrada, que podem apresentar desafios como instabilidade físico-química e sedimentação de partículas. A introdução desses adjuvantes na calda de pulverização pode modificar suas características físico-químicas (Stock; Briggs, 2000).

A interação entre a formulação do defensivo, a escolha do adjuvante e a tecnologia de aplicação é decisiva para o sucesso da pulverização. Formulações em suspensão concentrada apresentam alta concentração de ingrediente ativo e exigem ajuste preciso da composição da calda para evitar precipitação de partículas e entupimento das pontas de pulverização (Banks, 2020).

A presença de adjuvantes dispersantes favorece a estabilidade da suspensão e a compatibilidade da mistura, contribuindo para um espectro de gotas apropriado à deposição uniforme do princípio ativo sobre o alvo. O equilíbrio entre esses fatores influencia diretamente a cobertura, a absorção do ingrediente ativo e a eficiência do controle de pragas e doenças (Cunha; Bueno; Ferreira, 2010).

A escolha das pontas de pulverização desempenha papel central na qualidade da aplicação, pois define-se o tamanho das gotas, sua deposição e duração sobre o alvo. A combinação entre pontas com indução de ar e adjuvantes pode aprimorar a aplicação ao reduzir o risco de perdas por deriva e manter a cobertura adequada, desde que o equipamento esteja devidamente calibrado e que a compatibilidade entre os componentes da calda esteja sinérgica na mistura (Nuyttens *et al.*, 2007).

As condições meteorológicas no momento da aplicação são determinantes e as variáveis de temperatura, umidade relativa e velocidade do vento afetam a volatilização do produto e o risco de deriva. A incorporação de adjuvantes redutores de deriva pode mitigar esses efeitos e favorecer maior deposição no alvo (Nuyttens *et al.*, 2007).

A associação de adjuvantes umectantes com formulações em suspensão concentrada favorece a absorção dos ingredientes ativos em condições de baixa umidade e reduz perdas por evaporação (Azevedo; Freire, 2006).

A evolução das tecnologias de aplicação demanda abordagem integrada que considere a formulação do produto, a adição de adjuvantes, a precisão dos equipamentos e o treinamento contínuo de operadores e preparadores de calda com adoção de boas práticas agrícolas para minimizar desperdícios e potencializar a eficiência do uso de insumos. O aprimoramento da tecnologia de aplicação contribui para a eficácia do controle fitossanitário e para a sustentabilidade do sistema produtivo (Maciel *et al.*, 2025).

2.2 Adjuvantes

O uso de adjuvantes e aditivos tem se tornado cada vez mais frequente no campo e na indústria agroquímica. De acordo com a legislação brasileira estabelecida pela Lei n. 7.802 de 1989 e pelo Decreto n. 4.074 de 2002, há distinção entre adjuvantes e aditivos de calda (Brasil, 1989; Brasil, 2002).

Adjuvantes são adicionados à mistura em defensivos com o objetivo de potencializar a eficiência da aplicação por meio do aprimoramento da deposição, da absorção e da retenção do ingrediente ativo no alvo, enquanto, aditivos são componentes incorporados durante a formulação dos defensivos e influenciam na composição química e na estabilidade do produto antes da aplicação em campo, conforme a literatura (Raetano; Chechetto, 2019).

Esses compostos podem ser adicionados às formulações comerciais ou diretamente ao tanque de pulverização com a finalidade de modificar propriedades físico-químicas da calda e assim alterar impacto e espalhamento das gotas, molhabilidade, retenção, depósito, penetração, absorção e quando aplicável translocação do ingrediente ativo nos tecidos vegetais em diferentes condições operacionais e ambientais (Hazen, 2000).

A diversidade de adjuvantes disponíveis permite a classificação funcional em duas categorias principais ativadores e modificadores. Os ativadores aumentam diretamente a eficácia dos defensivos ao otimizar absorção, espalhamento e penetração por meio da modificação da interface da calda com o tecido vegetal (Hazen, 2000).

Dentro da categoria de ativadores destacam-se os surfactantes que reduzem a tensão superficial, promovem adesão e cobertura mais uniforme, como exemplo existem óleos vegetais e minerais que em geral associados podem favorecer as gotas quanto a penetração na superfície do alvo e ainda, atenuar perdas por evaporação em contextos específicos (Oliveira *et al.*, 2013; Penner, 2000).

Os condicionadores de água como o sulfato de amônio podem auxiliar no manejo interativos de íons e no ajuste de parâmetros que afetam a performance do ingrediente ativo (Stock; Briggs, 2000).

Modificadores constituem adjuvantes cuja finalidade principal é ajustar propriedades físico-químicas da calda e condições do processo de aplicação, sem terem como objetivo interferir na atividade biológica intrínseca do ingrediente ativo (McMullan, 2000).

Nessa categoria incluem-se redutores de deriva e espessantes, modificadores reológicos, antiespumantes e ajustadores de pH com ação tampão, os quais podem contribuir para o controle do espectro de gotas, a compatibilidade de misturas e a deposição do produto no alvo sob diferentes condições operacionais, ampliando a estabilidade e a eficiência da aplicação (McMullan, 2000).

Em formulações na forma de suspensão concentrada a estabilidade da calda depende da dispersão e da distribuição das partículas no meio e pode ser comprometida por agitação insuficiente, com a qualidade da água, variações de temperatura e instabilidades que levam à sedimentação, à formação de cristais e à aglomeração de partículas originando entupimentos nas pontas e nos componentes do sistema de pulverização (Embrapa, 2018).

O emprego de adjuvantes dispersantes e de condicionadores de calda auxilia na manutenção da homogeneidade da mistura ao reduzir a tendência de agregação e ao favorecer a estabilidade durante o preparo e a aplicação conforme indicado por estudos de tecnologia de aplicação (Cunha; Alves, 2017; Baio *et al.*, 2021).

De maneira geral, os adjuvantes desempenham papel decisivo na compatibilidade de misturas de tanque em especial quando formulações em

suspensão concentrada são combinadas com outros produtos. Em tais situações podem ocorrer floculação, separação de fases ou formação de precipitados comprometendo a uniformidade da aplicação e a eficácia do tratamento (Damo *et al.*, 2020).

A inclusão de adjuvantes com função compatibilizante reduz a incidência de interações indesejadas entre os componentes e favorece a estabilidade da mistura ao longo do período de uso como registrado em estudos recentes (Oliveira *et al.*, 2020; Antuniassi *et al.*, 2021).

Além da classificação funcional, os adjuvantes podem ser subdivididos em grupos específicos de acordo com o efeito predominante na pulverização e essa organização auxilia a seleção técnica para diferentes cenários operacionais e alvos biológicos conforme referências consolidadas em tecnologia de aplicação e ciência dos adjuvantes que embasam a Tabela 1 (Matthews, 2014; Hazen, 2000).

Tabela 1 – Classificação de adjuvantes agrícolas por categoria, subcategoria, função principal e ingredientes típicos.

Categoria	Subcategoria (tipo)	Função principal	Ingredientes típicos / exemplos
Ativadores	Surfactantes não iônicos (NIS)	Reduzem a tensão superficial, melhoram molhamento e cobertura	Etoxilados de álcool graxo; etoxilados de óleo de rícino; tensoativos não iônicos modernos
Ativadores	Organossiliconados (OSS, trisiloxanos)	Superespalhamento e, em alguns casos, facilitação de penetração	Polieter-trisiloxanos; copolímeros de siloxano
Ativadores	Óleos: COC (óleo mineral + surfactante)	Aumentam retenção e penetração; reduzem evaporação	Óleo mineral parafínico + NIS
Ativadores	Óleos: MSO/MVO (óleo vegetal metilado)	Penetração e aderência elevadas	Ésteres metílicos de ácidos graxos (soja/algodão)
Ativadores	Óleos: HSOC/HSOS (alto teor de surfactante)	Espalhamento + penetração; melhora estabilidade da emulsão em misturas óleo/água	Óleo mineral/vegetal + 20–50% de surfactantes
Ativadores	Umectantes	Retardam a secagem da gota	Glicerina; propilenoglicol; polióis

Modificadore s (utilitários)	Redutores de deriva / Espessantes	Aumentam DMV; reduzem fração <100–150 µm	Goma-guar; poliacrilamidas; derivados celulósicos
Modificadore s (utilitários)	Condicionadores de água – pH / tampão	Ajustam pH e estabilizam a calda	Ácido cítrico/fosfórico; sistemas tampão
Modificadore s (utilitários)	Condicionadores de água – dureza (cátions)	Complexam cátions; reduzem antagonismo	Sulfato de amônio (AMS); quelantes (EDTA)
Modificadore s (utilitários)	Antiespumantes	Reduzem espuma no preparo	Emulsões de silicone/polissiloxanos ; óleos de silicone
Modificadore s (utilitários)	Dispersantes / Emulsificantes	Estabilizam misturas e suspensões	Lignossulfonatos; naftaleno-sulfonatos; tensoativos não iônicos
Modificadore s (utilitários)	Aderentes / Deposição (stickers)	Aumentam fixação e resistência à chuva	Resinas naturais/sintéticas; látex

Fonte: Autor, adaptado de Antuniassi, 2015; CPDA, 2025.

2.2.1 Óleo Vegetal Modificado

O óleo vegetal modificado conhecido internacionalmente como methylated seed oil MSO ou modified vegetable oil MVO, é um adjuvante ativador obtido pela esterificação de óleos de origem vegetal resultando em ésteres metílicos em proporção majoritária e uma fração menor de coformulantes emulsificantes (Hazen, 2000).

Apresenta composição típica com cerca de setenta a oitenta e cinco por cento de óleo metilado e dez a vinte por cento de emulsificante variações que dependem do fabricante e do uso declarado conforme terminologia e padrões setoriais reconhecidos (Zhang *et al.*, 2013).

Do ponto de vista funcional, o óleo vegetal modificado atua principalmente no aumento da retenção na superfície foliar, na redução do ângulo de contato e na aceleração da absorção de determinados ingredientes ativos sem garantia universal de ganho biológico. Os efeitos dependem do ingrediente ativo no alvo e das condições meteorológicas com registros experimentais de redução de tensão superficial, incremento de espalhamento na folha e aumento de absorção em janelas de vinte e quatro horas após a aplicação (Hazen, 2000; McMullan, 2000; Zhang *et al.*, 2013).

A influência do óleo vegetal modificado sobre a formação do jato e o espectro de gotas é condicionada pelo modelo de ponta, pressão de trabalho e matriz de formulação de modo que a direção e a magnitude do efeito não são universais. Requerem seleção da classe de tamanho de gotas desejada e validação em condição operacional representativa segundo guias de classificação e estudos de pulverização com adjuvantes (Spanoghe *et al.*, 2007).

Quanto a permanência do depósito sobre a folha e à suscetibilidade à chuva, a literatura indica que o óleo vegetal modificado pode favorecer a absorção antes da chuva. Para ativos sensíveis a essa condição, a resistência à lavagem depende do ingrediente ativo do intervalo da aplicação até a chuva e da formulação sendo recomendável pautar a decisão em tempos mínimos de absorção reportados e em orientações técnicas independentes (Pannacci *et al.*, 2010).

No contexto de formulações na forma de suspensão concentrada a estabilidade coloidal da calda depende de dispersantes do preparo com a água e da agitação e não deve ser atribuída ao óleo vegetal modificado como regra geral. É tecnicamente recomendável realizar ensaio de compatibilidade quando houver múltiplos produtos na mistura ou quando a água apresentar dureza ou pH desfavoráveis para prevenir instabilidades operacionais (Moraes *et al.*, 2019). O uso do óleo vegetal modificado demanda manejo de risco por injúria fitotóxica, especialmente sob altas temperaturas e condições de estresse da cultura e requer atenção rigorosa à dose e às instruções de bula tanto do defensivo quanto do adjuvante (Wilson *et al.*, 2005).

De tal forma, que seguindo boas práticas de aplicação é necessário se basear na seleção de documentos de extensão e guias independentes que discutem quando e por que utilizar cada classe e que recomendam validar a escolha no sistema de aplicação específico (Matthews; Bateman; Miller, 2014).

No planejamento operacional a seleção da classe de tamanho de gotas e da ponta deve preceder a decisão sobre adjuvante, uma vez que o efeito do óleo vegetal modificado na pulverização é contingente ao mecanismo da ponta, junto à pressão e à matriz da formulação (Nuyttens *et al.*, 2007).

Alguns adjuvantes podem alterar a distribuição de gotas para mais homogêneo, porém a mitigação de deriva não depende sobretudo da escolha adequada de pontas, mas sim de uma correlação segundo norma específica e da validação da configuração em condição representativa de campo com uso combinado de estratégias de redução

de deriva e testes de compatibilidade de mistura para prevenir instabilidades em caldas complexas (Chechetto; Antuniassi, 2013).

2.2.2 Concentrado de óleo com alto teor de surfactante

O concentrado oleoso com alta carga de surfactante e ou HSOC (High Surfactant Oil Concentrate) é um adjuvante ativador cuja formulação combina pelo menos metade de óleo de base mineral ou vegetal inclusive variantes metiladas com fração elevada de tensoativos em torno de vinte e cinco a cinquenta por cento (Wirth; Zollinger, 2018).

Reunindo em um único produto propriedades de óleo e de tensoativo para promover molhabilidade, espalhamento, retenção e penetração quando utilizado nas doses recomendadas e em condições operacionais adequadas (Rolando *et al.*, 2020).

Conceitualmente esses concentrados foram desenvolvidos para misturas em tanque com múltiplos produtos que reúnem ingredientes predominantemente hidrossolúveis e componentes oleosos (Moraes *et al.*, 2021).

A maior carga de tensoativos confere um balanço hidrofílico lipofílico mais neutro atenuando antagonismos associados ao uso de óleos convencionais na presença de ativos hidrossolúveis, como exemplo do glifosato que ao mesmo tempo em que preserva propriedades de espalhamento, molhabilidade, retenção e penetração úteis em alvos com dossel com alta densidade foliar ou superfícies foliares cerosas (Wirth; Zollinger, 2018).

No campo, o emprego com herbicidas pós emergência busca conciliar os benefícios do componente oleoso com elevada tensoatividade mantendo compatibilidade de mistura inclusive com sais de amina e em diversos cenários o concentrado com alta carga de tensoativos é posicionado em taxas inferiores às de concentrados oleosos convencionais como COC e óleos vegetais metilados MSO, reduzindo risco de injúria sem sacrificar eficácia sendo a resposta dependente do ingrediente ativo da espécie alvo do volume de calda e das condições ambientais no momento da aplicação (Kammler; Walters; Young, 2010).

Quanto à estabilidade e à compatibilidade de caldas recomenda-se avaliar previamente as misturas por ensaio de compatibilidade, principalmente quando houver múltiplos produtos ou quando a água apresentar dureza ou pH desfavoráveis (Tavares; Cunha, 2023).

Uma vez que a estabilidade resulta da combinação entre emulsificantes dispersantes e qualidade da água e não de uma propriedade intrínseca do adjuvante deve-se também observar a ordem de mistura com pré condicionamento da água quando necessário, por exemplo, com sulfato de amônio e agitação contínua durante o preparo e a aplicação (Devkota; Johnson, 2016).

Quanto à seletividade e segurança o uso deve considerar a sensibilidade da cultura, a temperatura, a umidade relativa e o estado fisiológico das plantas devido às cargas elevadas de tensoativos com óleo podem intensificar a penetração cuticular e aumentar o risco de injúria (Rolando *et al.*, 2020).

Em condições de estresse térmico e hídrico torna-se recomendável ajustar a dose conforme os rótulos do defensivo e do adjuvante, além de realizar a validação local antes do uso em larga escala (Butts, 2021; Zollinger, 2012).

2.2.3 Surfactante Não-iônico

Surfactantes não-iônicos são amplamente utilizados em formulações e em misturas em tanque devido à carga neutra em solução aquosa, o que favorece a compatibilidade com diferentes classes de defensivos e a redução da tensão superficial da calda (Song *et al.*, 2022).

Como consequência, promove molhabilidade, espalhamento e retenção sobre superfícies foliares, com aplicações recorrentes em herbicidas, fungicidas e inseticidas em distintos sistemas de produção (Peirce *et al.*, 2019).

A eficiência desses adjuvantes decorre de sua estrutura anfifílica que combina domínio hidrofílico solúvel em água e domínio lipofílico com afinidade por ceras epicuticulares, o que facilita a formação de filmes líquidos estáveis e a redução do ângulo de contato sem conferir carga elétrica à solução. E, ao mesmo tempo para evitar perdas por escorrimento ou retenção insuficiente o balanço hidrofílico lipofílico deve ser compatível com a formulação do produto e com o objetivo da aplicação (Hu *et al.*, 2022).

Entre os não-iônicos, os tensoativos à base de trisiloxanos modificados destacam-se pelo espalhamento extremo que ampliam a área coberta com menores volumes de calda e podem favorecer a penetração via estômatos em condições específicas (Xu *et al.*, 2024).

Porém, o manejo cuidadoso do volume de aplicação e da dose do adjuvante é necessário para evitar escorrimento, concentração excessiva de ingredientes ativos em baixos volumes e incompatibilidades em misturas complexas (Stevens, 1993; Penner, 2000).

A barreira cuticular composta majoritariamente por ceras hidrofóbicas limita a difusão de ingredientes hidrossolúveis e surfactantes não-iônicos como éteres de polioxietileno podem aumentar transitoriamente a permeabilidade cuticular (Vittal *et al.*, 2023).

Dessa forma, têm-se como resultado maior absorção e, em alguns casos, maior translocação sistêmica do ingrediente ativo, efeitos que dependem da espécie vegetal, do estado fisiológico e do regime ambiental de aplicação (Neumann; Prinz, 1974; Hess; Foy, 2000; Hazen, 2000).

Herbicidas como glifosato e 2,4 D mostram incrementos de retenção e de absorção quando associados a surfactantes não-iônicos, ao passo que a qualidade da água e a presença de cátions interferentes podem comprometer o desempenho. Razão pela qual a seleção do adjuvante deve considerar o manejo de dureza com condicionadores apropriados e a compatibilidade com sais e formulações empregadas (Devkota; Johnson, 2016).

A compatibilidade de misturas e a estabilidade físico-química da calda não são propriedades garantidas apenas pela presença de surfactantes não-iônicos e dependem da formulação do defensivo, da ordem de mistura, do pH, de bicarbonatos e da dureza da água (Tavares; Cunha, 2023).

É recomendável realizar ensaio de compatibilidade em laboratório, controlar espuma quando necessário e seguir sequências de mistura validadas para prevenir precipitação, floculação e separação de fases em campo (Whitford *et al.*, 2018; Weisbrod; Puckett, 2023).

2.2.4 Polímeros

Polímeros usados como adjuvantes redutores de deriva atuam por elevar a viscosidade e a elasticidade da calda durante a atomização o que reduz respingos e gotas satélites e desloca o espectro para classes menos suscetíveis ao transporte pelo vento (Lewis *et al.*, 2016).

Dentre eles, os naturais como a goma guar destaca se pela capacidade de aumentar o diâmetro médio volumétrico e reduzir a fração de gotas finas abaixo de cem a cento e cinquenta micrômetros quando corretamente hidratada e dispersa (Hewitt, 2024).

Ensaio em túnel de vento e estudos de campo controlados mostram que adjuvantes poliméricos incluindo a goma guar proporcionam reduções substanciais de deriva frequentemente acima de cinquenta por cento com ganhos mais evidentes (İtmeç *et al.*, 2022).

Mesmo sob maior velocidade do vento e menor umidade relativa embora a magnitude dependa do tipo de ponta, pressão e formulação usada o que é coerente com a diminuição da fração de gotas finas e a ampliação do tamanho característico das gotas (Vargas *et al.*, 2025).

A eficácia operacional é condicionada pelo preparo e pela qualidade da água porque polímeros podem apresentar hidratação lenta, sensibilidade à dureza e a bicarbonatos e interações com tensoativos que alteram a conformação das cadeias e o desempenho e diferenças de estabilidade ao cisalhamento entre polímeros (Milanowski *et al.*, 2022).

Além disso, importam com relatos de boa resistência de gomas naturais ao bombeamento quando comparadas a alguns sintéticos, razão pela qual se recomenda validar compatibilidade e ordem de mistura e respeitar tempos de hidratação antes do preparo do tanque principal (Hu *et al.*, 2024).

A integração de polímeros à tecnologia de aplicação requer selecionar previamente a classe de tamanho de gotas segundo norma de classificação, escolher o tipo de ponta e a faixa de pressão que entreguem a qualidade desejada (Fritz *et al.*, 2012).

Em cenários de altas temperaturas e baixas umidades o aumento da viscosidade extensional por polímeros pode retardar a quebra do filme líquido em gotas e a evaporação inicial destas, favorecendo a permanência líquida do depósito e a disponibilidade do ingrediente ativo (Hilz; Vermeer, 2013).

Esse benefício deve ser balanceado com a necessidade de cobertura e com o risco de escorrimento quando a dose excede o recomendado como ótimo e realizar testes em pequena escala e calibração do sistema pode favorecer o entendimento para determinada situação (Cunha *et al.*, 2022).

Limitações práticas incluem potencial de espuma e risco de entupimento quando há má dispersão ou sobredose e queda de desempenho em misturas complexas sem pré-teste (Jomantas *et al.*, 2023).

De modo que boas práticas indicam ensaio de compatibilidade com condicionamento prévio da água local quando necessário e uso de sequências de mistura validadas antes do preparo em escala operacional para reduzir floculação, separação de fases e falhas de deposição (Tavares; Cunha, 2023).

2.2.5 Silicone

Surfactantes organosilicones são empregados para reduzir de forma acentuada a tensão superficial da calda e, por consequência, favorecer molhabilidade, espalhamento e deposição sobre superfícies foliares. Tal efeito associado ao esqueleto siloxano com cadeias polioxietilênicas que confere espalhamento extremo em baixas concentrações quando comparados a tensoativos não-iônicos convencionais reportadas em aplicações de herbicidas, fungicidas e inseticidas em diferentes sistemas de produção (Rolando *et al.*, 2014).

A capacidade de reduzir a tensão superficial para valores próximos de vinte e dois mili newtons por metro distingue os organossiliconados de outras classes de adjuvantes e contribui para aumento da área molhada e melhor molhabilidade de superfícies foliares de difícil umectação (Castro *et al.*, 2018).

Em condições específicas, tem sido descrita a ocorrência de infiltração estomática, associada à presença de estômatos funcionalmente abertos e à manutenção de película líquida contínua, porém tal via deve ser interpretada como contingente e, em geral, secundária em relação aos processos de penetração predominantes pela cutícula, razão pela qual seu potencial de contribuição para absorção não deve ser tratado como mecanismo principal de eficácia em aplicações pós-emergência (Zabkiewicz, 2007).

Tensões superficiais muito baixas podem aumentar a fração de gotas finas e a suscetibilidade à deriva, sendo assim a decisão de uso dos organossiliconados deve ser integrada à escolha do modelo da ponta de pulverização e da pressão com referência a normas de classificação e validação em condição operacional representativa (Hilz; Vermeer, 2013).

Quanto à permanência no alvo e a eventos de precipitação após a aplicação, a literatura indica que organosiliconados podem acelerar a absorção pré chuva para determinados ingredientes ativos e reduzir cristalização superficial (Teixeira; Veronese; Christoffoleti, 2015).

Embora o benefício dependa do modo de ação, do intervalo até a precipitação e da dose do adjuvante, ainda pode haver risco de escoamento quando o espalhamento se torna excessivo em volumes baixos, motivo pelo qual as taxas de uso devem ser ajustadas ao produto, às condições meteorológicas e a compatibilidade deve ser previamente confirmada (Dorr *et al.*, 2016).

A seletividade em culturas sensíveis requer atenção à temperatura, umidade e estado fisiológico das plantas, uma vez que a penetração acelerada pode elevar o risco de injúria sob estresse térmico e hídrico. O que se torna recomendável ajustar a dose e o posicionamento de acordo com rótulos e conduzir validação local e prática alinhada por meio de compilações brasileiras de tecnologia de aplicação e guias internacionais que enfatizam a integração entre adjuvante, formulação e configuração de pulverização (Chen *et al.*, 2022).

3 FORMULAÇÕES DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS

A formulação condiciona a eficiência da pulverização ao definir propriedades físico-químicas da calda como molhabilidade, tensão superficial, reologia e estabilidade, que por sua vez afetam deposição no alvo, uniformidade de cobertura, retenção e disponibilidade do ingrediente ativo (Massinon; Lebeau, 2013).

Formulações e coformulantes inadequados podem acelerar degradação, favorecer volatilização e reduzir persistência agronômica, tornando a escolha da forma comercial parte central do desempenho em campo (Boonupara *et al.*, 2023).

A seleção da formulação deve equilibrar a estabilidade química do ingrediente ativo com a compatibilidade entre dispersantes, umectantes, antiespumantes e eventuais adjuvantes de tanque, integrando requisitos de segurança do usuário e de desempenho agronômico (Jungers *et al.*, 2022).

Guias técnicos atualizados destacam que a decisão precisa considerar água de preparo, ordem de mistura e o método de aplicação previsto, com checagem prática por ensaio de compatibilidade quando houver múltiplos componentes (Rakes *et al.*, 2017).

Avanços recentes incluem sistemas de liberação modificada como microencapsulação e nanoformulações, que podem aumentar estabilidade de armazenamento, reduzir exposição do aplicador e modular a cinética de liberação. Relatos de ganhos médios de eficácia são encontrados, porém com a necessidade de avaliação comparativa rigorosa frente às formas convencionais (Kah; Weniger; Hofmann, 2016).

Além da eficácia, diferentes fórmulas comerciais influenciam a deriva e a deposição. Alguns estudos comparando formulações apontam, por exemplo, que há redução de deriva quando a suspensão concentrada substitui o pó-molhável em condições controladas, reforçando que a escolha da formulação deve ser integrada à seleção de ponta, pressão e classe de tamanho de gotas para o alvo (Preftakes *et al.*, 2019).

3.1 Suspensão Concentrada (SC)

A suspensão concentrada é um sistema aquoso no qual partículas sólidas finas do ingrediente ativo permanecem dispersas com auxílio de agentes molhantes e dispersantes, permitindo formular ativos de baixa solubilidade sem solventes orgânicos e com menor risco de poeira, vantagem operacional que explica sua ampla adoção em proteção de plantas (Ohkouchi; Tsuji, 2022).

A estabilidade física de SC depende do controle do tamanho de partícula, da fração volumétrica de sólidos e do balanço entre estabilização eletrostática e estérica para evitar floculação e sedimentação, faixas submicrométricas a poucos micrômetros aumentam área específica e favorecem cobertura e biodisponibilidade, desde que não comprometam a reologia e o manuseio (Zhang *et al.*, 2020).

Durante o uso é necessária a agitação antes e durante a aplicação para manter a homogeneidade e prevenir deposição de sólidos no tanque reservatório e nos componentes hidráulicos. A recomendação presente em manuais de aplicação e módulos de certificação também orientam verificar filtros, ordem de mistura e qualidade da água (Badules *et al.*, 2020).

Misturas em tanque com SC podem apresentar incompatibilidades físico-químicas quando combinadas a múltiplos parceiros, pH extremos, dureza e bicarbonatos, devendo-se realizar ensaio de compatibilidade, respeitar tempos de hidratação e ordens de mistura, e empregar adjuvantes apenas quando tecnicamente indicados. Compêndios técnicos nacionais reforçam essas práticas no contexto de tecnologia de aplicação (Zhang *et al.*, 2023).

Como sistemas base água, SC reduzem uso de solventes orgânicos e emissões de compostos orgânicos voláteis, ao mesmo tempo em que exigem formulação criteriosa para estabilidade térmica e resistência a ciclos de congelamento e descongelamento em logística e armazenamento (He *et al.*, 2022).

A suspensão concentrada, oferece alta versatilidade para herbicidas, fungicidas e inseticidas quando o controle de tamanho de partícula, a escolha de dispersantes e a condução operacional são adequados, sendo recomendável validar em pequena escala a mistura específica e a configuração de aplicação para assegurar desempenho consistente do depósito no alvo (Faers *et al.*, 2024).

4 PONTAS DE PULVERIZAÇÃO E ESPECTRO DE GOTAS

Quanto ao desenho construtivo das pontas, pontas de jato plano, duplo leque e cônicas tendem a produzir maior fração de gotas finas úteis quando se busca alta cobertura em dosséis densos. Enquanto tecnologias com pré-orifício, impacto ou indução de ar aumentam o espectro para gotas mais grossas reduzindo a suscetibilidade à deriva, diferenças explicadas pela estabilidade da lâmina líquida e pelo regime de escoamento no orifício da ponta (Chechetto; Antuniassi, 2012).

A caracterização do jato que utiliza métodos ópticos como difração a laser para estimar parâmetros do espectro e da velocidade em que o diâmetro mediano volumétrico DV_{0,5} divide o volume pulverizado em duas metades. Métricas como a fração volumétrica de gotas menores que cem ou cento e cinquenta micrômetros são empregadas para inferir potencial de deriva nas classes de qualidade de gotas definidas em norma (Fritz *et al.*, 2016).

Conforme descrito na norma ASABE S572.3, a homogeneidade do espectro pode ser expressa pela amplitude relativa calculada como AR igual a DV_{0,9} menos DV_{0,1} dividido por DV_{0,5} em que valores menores indicam distribuição mais uniforme e cobertura mais regular enquanto amplitudes elevadas revelam heterogeneidade que pode comprometer a constância da deposição e ampliar a fração de finas sendo recomendável avaliar esses indicadores em condição operacional representativa (Guler *et al.*, 2007).

A composição da calda altera o espectro produzido por uma mesma ponta e pressão uma vez que reduções de tensão superficial favorecem sprays mais finos ao passo que aumentos de viscosidade deslocam o espectro para gotas mais grossas de modo que formulações e adjuvantes podem modificar simultaneamente cobertura e suscetibilidade à deriva exigindo ajuste conjunto de classe de ponta, pressão e dose do adjuvante (Bueno *et al.*, 2013).

Evidências nacionais mostram que adjuvantes capazes de elevar a viscosidade e ajustar a tensão superficial tendem a aumentar DV_{0,5} e reduzir a fração de gotas finas. Efeito este, útil em cenários de maior risco de deriva ao passo que pontas hidráulicas com indução de ar exibem maior sensibilidade ao ajuste da calda variando o espectro conforme a mistura, motivo pelo qual a combinação ponta e adjuvante deve ser validada em ensaios específicos (França *et al.*, 2018).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Local

O ensaio foi realizado, no Laboratório de Máquinas para Pulverização do Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agrícolas (NEMPA), situado na Fazenda Experimental Lageado da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA/UNESP), Botucatu – SP.

5.2 Condução do Ensaio

A seleção dos adjuvantes e dos produtos formulados como suspensão concentrada considerou a representatividade no uso agrícola e a diversidade de modos de ação e classes tecnológicas, de forma a contemplar cenários reais de mistura em tanque e seus efeitos sobre o espectro de gotas. Os adjuvantes avaliados, com a respectiva categoria, tipo e composição/descrição técnica, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Descrição dos adjuvantes, destacando categoria e composição e descrição técnica

Tipo	Nome	Composição, descrição técnica
Óleo vegetal modificado - MSO	Ochima®*	Alquil Ester Fosfatado
Concentrado oleoso com alta carga de surfactante - HSOC	TA 35 Gold®**	Éster metílico de óleo de soja
Não-lônico	Surfom ADJ 8860®***	Etoxilatos de álcoois graxos
Polímero	Xtend® Protect 2****	Polímeros naturais - goma guar
Silicone	Silwet L-77 Ag®*****	Polieter-trissiloxano

Informações disponíveis pela fabricante.

* Titular de registro – Syngenta Proteção de Cultivos Ltda.

** Titular de registro - Inquima Ltda.

*** Titular do registro – Oxiteno S.A Indústria e Comércio.

**** Titular do registro – Bayer S.A.

***** Titular do registro – Momentive Performance Materials USA, Inc.

Os produtos comerciais em formulação SC, com a respectiva classe e composição em ingrediente ativo, encontram-se descritos na Tabela 3.

Tabela 3 – Descrição dos produtos formulados em suspensão concentrada (SC): nome comercial, classe, grupo e composição do ingrediente ativo

Nome Comercial do Produto**	Classe*	Composição do Defensivo (I.A.)*
Ampligo®	Inseticida	50 g/L Lambda-cialotrina; 100 g/L Clorantiraniliprole
Minecto Pro®	Inseticida	18 g/L Abamectina; 60 g/L Ciantraniliprole
Miravis Duo®	Fungicida	125 g/L Difenconazol; 75 g/L Pidiflumetofen
Priori Xtra®	Fungicida	200 g/L Azoxistrobina; 80 g/L Ciproconazol
Calaris®	Herbicida	50 g/L Mesotriona; 500 g/L Atrazina

* Informações disponíveis pela fabricante.

** Titular de registro – Syngenta Proteção de Cultivos Ltda.

A opção por trabalhar com um conjunto heterogêneo de adjuvantes e SC permite explorar não apenas efeitos principais, mas também a interação do produto com adjuvante com diâmetro mediano volumétrico, a amplitude relativa e o $<100 \mu\text{m}$.

Em todos os casos foi adotada ordem fixa de mistura com agitação contínua, definida para padronizar o preparo e reduzir variações operacionais entre tratamentos. Inicialmente, adicionou-se água até aproximadamente 50% do volume do tanque; em seguida, incorporou-se o adjuvante na dose indicada e procedeu-se à sua dispersão completa; posteriormente, adicionou-se o produto em suspensão concentrada sob agitação e completou-se o volume com água, realizando-se homogeneização final imediatamente antes da aplicação.

Essa sequência foi adotada como procedimento experimental reprodutível e foi considerada coerente com recomendações normativas de que a ordem de adição deve seguir, preferencialmente, o rótulo e, quando não especificada, deve ser

estabelecida e validada para minimizar incompatibilidades físicas em misturas em tanque (ASTM, 2019; ABNT NBR, 2014).

As aplicações foram conduzidas em sistema pressurizado por ar comprimido, garantindo estabilidade de vazão. Para a leitura do espectro de gotas utilizaram-se duas pontas hidráulicas de jato plano TeeJet®: AIXR11003 com indução de ar e XR11003 sem indução, em altura de bico de 50 cm em relação ao alvo (laser), pressão constante de 280 kPa (2,8 bar) e vazão de 1,13 L min⁻¹, a temperatura permaneceu em 25 °C ± 5 e a umidade 80% ± 14.

5.3 Análise experimental

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial duplo. O primeiro fator correspondeu ao produto em suspensão concentrada com cinco níveis Ampligo®, Minecto Pro®, Miravis Duo®, Priori Xtra® e Calaris®.

O segundo fator também com seis níveis, sem adjuvante, Ochima®, TA 35 Gold®, Surfom ADJ 8860®, Xtend Protect 2® e Silwet L 77®. O terceiro fator correspondeu ao modelo de ponta de pulverização com dois níveis AIXR11003 com indução de ar e XR11003 sem indução. Cada combinação foi repetida 5 vezes totalizando 60 tratamentos e 300 amostras.

As misturas utilizadas em cada tratamento com as doses do produto e do adjuvante, encontram-se descritas na Tabela 4 que serviu de base para a execução das aplicações e dos resultados nas figuras e tabelas subsequentes.

Os dados foram analisados por ANOVA em esquema fatorial, conduzida separadamente para cada ponta, testando os efeitos de produto em suspensão concentrada. Quando houve significância aplicou-se o teste de Tukey a 5% de significância.

Tabela 4 – Composição dos tratamentos utilizados para a leitura do espectro de gotas

Tratamento e Descrição	Dose do produto (L ha⁻¹)*	Dose do adjuvante (% v/v)**
T1 — Ampligo®	0,15	—
T2 — Ampligo® + Ochima®	0,15	0,25
T3 — Ampligo® + TA 35 Gold®	0,15	0,25
T4 — Ampligo® + Surfom ADJ 8860®	0,15	0,10
T5 — Ampligo® + Xtend® Protect 2	0,15	0,5
T6 — Ampligo® + Silwet® L-77 Ag	0,15	0,05
T7 — Minecto Pro®	0,6	—
T8 — Minecto Pro® + Ochima®	0,6	0,25
T9 — Minecto Pro® + TA 35 Gold®	0,6	0,25
T10 — Minecto Pro® + Surfom ADJ 8860®	0,6	0,10
T11 — Minecto Pro® + Xtend® Protect 2	0,6	0,5
T12 — Minecto Pro® + Silwet® L-77 Ag	0,6	0,05
T13 — Miravis Duo®	0,5	—
T14 — Miravis Duo® + Ochima®	0,5	0,25
T15 — Miravis Duo® + TA 35 Gold®	0,5	0,25
T16 — Miravis Duo® + Surfom ADJ 8860®	0,5	0,10
T17 — Miravis Duo® + Xtend® Protect 2	0,5	0,5
T18 — Miravis Duo® + Silwet® L-77 Ag	0,5	0,05
T19 — Priori Xtra®	0,3	—
T20 — Priori Xtra® + Ochima®	0,3	0,25
T21 — Priori Xtra® + TA 35 Gold®	0,3	0,25
T22 — Priori Xtra® + Surfom ADJ 8860®	0,3	0,10
T23 — Priori Xtra® + Xtend® Protect 2	0,3	0,5
T24 — Priori Xtra® + Silwet® L-77 Ag	0,3	0,05
T25 — Calaris®	2	—
T26 — Calaris® + Ochima®	2	0,25
T27 — Calaris® + TA 35 Gold®	2	0,25

T28 — Calaris® + Surfom ADJ 8860®	2	0,10
T29 — Calaris® + Xtend® Protect 2	2	0,5
T30 — Calaris® + Silwet® L-77 Ag	2	0,05

* Dose do produto conforme bula/ensaio.

** Dose do adjuvante conforme recomendação do fabricante.

5.4 Análise do Espectro de Gotas

A caracterização do espectro de gotas foi realizada por meio da técnica de difração óptica a laser, utilizando-se o analisador de partículas Sympatec Helos KR.

O equipamento opera com feixe laser colimado e sistema óptico intercambiável, permitindo a determinação da distribuição volumétrica do tamanho de partículas e gotas em ampla faixa de medição, que pode abranger aproximadamente de 0,1 µm a 1500 µm, na lente empregada R7.

O espectro de gotas foi descrito pelos diâmetros volumétricos representativos DV0,1, DV0,5 e DV0,9. O parâmetro DV0,1 indica que 10% do volume pulverizado é constituído por gotas com diâmetro inferior a esse valor; o DV0,5, também denominado diâmetro mediano volumétrico ou DMV, corresponde ao diâmetro que divide o volume total pulverizado em duas frações iguais; e o DV0,9 indica que 90% do volume é composto por gotas menores que esse diâmetro.

Foram determinadas ainda as frações volumétricas de gotas com diâmetro inferior a 100 µm. A uniformidade do espectro foi expressa pela amplitude relativa, calculada como $(DV0,9 - DV0,1) / DV0,5$, sendo valores menores indicativos de espectro mais homogêneo.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização global do espectro de gotas evidencia efeitos estruturais do modelo da ponta sobre as variáveis de interesse. A Tabela 5 resume, para todas as combinações de produto em suspensão concentrada e adição de adjuvantes, as médias por ponta e os intervalos de confiança de 95% (IC95) do DV0,5, V<100% e AR.

Observa-se um padrão consistente a ponta com indução de ar (AIXR) apresenta DV0,5 mais elevado, menor fração volumétrica de gotas <100 µm e menor amplitude relativa, ao passo que a ponta sem indução (XR) concentra-se em DV0,5 inferiores, maior proporção V<100. Esse contraste fornece o plano de fundo das análises subsequentes, motivo pelo qual os resultados são discutidos estratificados por modelo de ponta.

Tabela 5 – Composição médias gerais por ponta considerando todas as misturas DV0,5 V<100 e AR com IC95 e comparação entre pontas

Ponta	Variável	Média	IC95
AIXR	DV0,5	397,4745	20,03543
XR	DV0,5	219,4025	16,76809
AIXR	V100	2,734533	0,497546
XR	V100	11,59933	1,187441
AIXR	AR	1,258353	0,035439
XR	AR	1,391317	0,063716

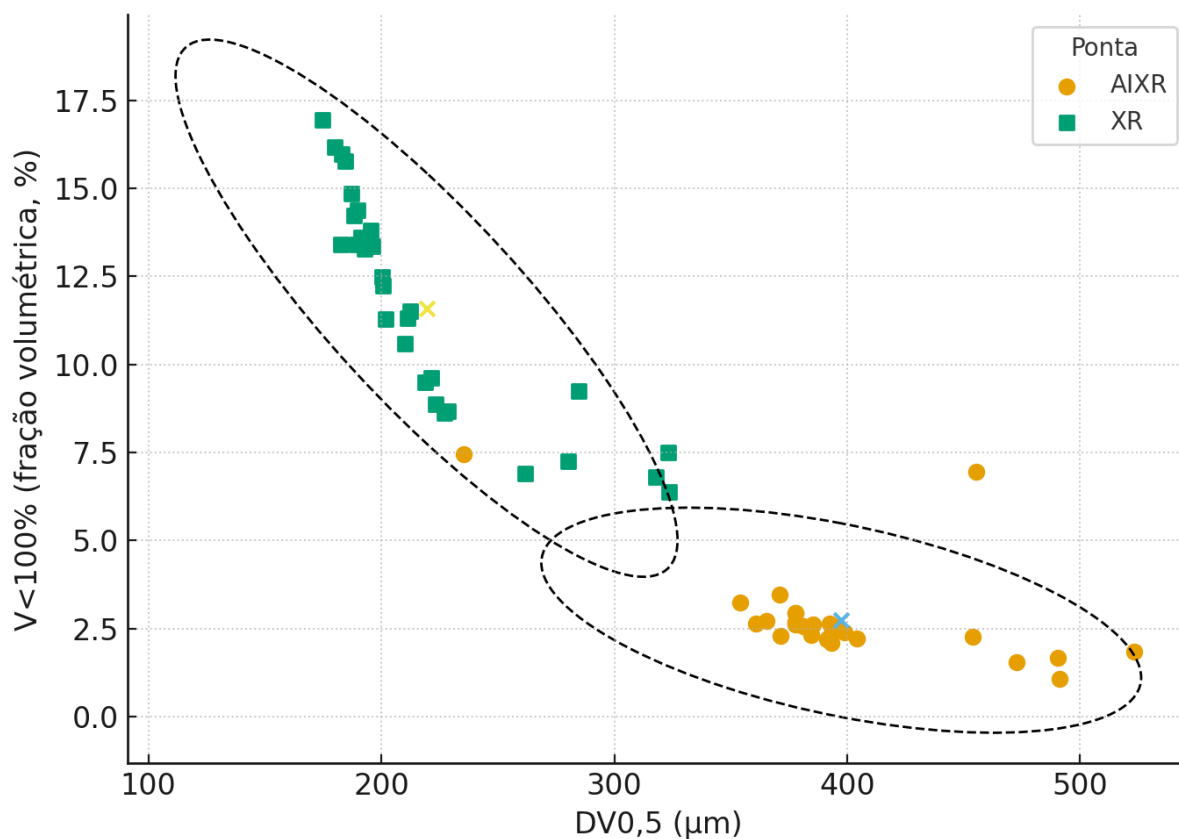
6.1 Efeito do modelo da ponta no perfil de gotas

A Figura 1 sintetiza a relação conjunta entre DV0,5 (eixo x) e V<100% (eixo y) para todos os tratamentos. Formam-se dois agrupamentos nítidos, os pontos associados à AIXR ocupam a região de maiores diâmetros médio volumétricos e menores proporções de gotas finas, enquanto os pontos da XR se concentram no

quadrante oposto. As elipses de IC95 apresentam sobreposição mínima, indicando que o efeito principal “ponta” explica parcela substancial da variação observada.

Além da separação entre grupos, nota-se associação inversa entre DV0,5 e $V<100\%$ no conjunto dos tratamentos, misturas que deslocam o DV0,5 para valores mais altos tendem, simultaneamente, a reduzir $V<100$. Com base nesse resultado, as seções seguintes examinam as interações “SC com adjuvante” separadamente para AIXR e XR, preservando a coerência do desenho experimental e a interpretabilidade prática.

Figura 1 – Gráfico de dispersão DV0,5 no eixo x versus $V<100$ no eixo y e uma marca por tratamento cor por ponta com elipse de IC95 por ponta



6.2 Interação SC com adjuvante na ponta AIXR

6.2.1 Diâmetro mediano volumétrico (DV0,5) – AIXR

A avaliação do DV0,5 com a AIXR11003 mostrou um padrão hierárquico nítido entre os adjuvantes quando combinados às formulações em suspensão concentrada (Tabela 6). Em primeiro plano, Xtend® Protect 2 apresentou incremento consistente do DV0,5 em todas as SC, destacando-se como a condição mais estável para deslocar os diâmetros das gotas para valores mais elevados.

Esse resultado é compatível com evidências consolidadas de que adjuvantes polímeros tendem a conferir maior estabilidade à formação das gotas em pontas com indução de ar, repercutindo em distribuições centradas em diâmetros maiores (Alves; Kruger; Cunha, 2018).

O TA 35 Gold® apresentou valor de DV0,5 estatisticamente superior ao tratamento sem adjuvante apenas para um produto SC, nas demais combinações, obteve valores de DV0,5 próximos ou abaixo do tratamento sem adjuvante. O Silwet® L-77 Ag apresentou variação dos valores de DV0,5 dependentes do produto SC.

Ochima® e Surfom ADJ 8860® mantiveram, em geral, DV0,5 em patamar intermediário ou próximo ao controle, com variações moduladas pela matriz do produto em suspensão concentrada.

Esse comportamento é consistente com a literatura que descreve respostas não generalizáveis de adjuvantes sobre o espectro, uma vez que o efeito observado decorre da interação entre propriedades físicoquímicas da calda, formulação comercial e mecanismo de atomização da ponta, especialmente em tecnologias com indução de ar (Sijs *et al.*, 2020).

Estudos experimentais com pontas de indução de ar demonstram que diferentes classes de adjuvantes podem alterar DMV e frações de gotas finas em magnitudes e direções distintas, reforçando a necessidade de interpretação estratificada por tecnologia de ponta (Mota; Antuniassi, 2013).

Tabela 6 – Valores médios de diâmetro mediano volumétrico (DV_{0,5}) de caldas fitossanitárias com produtos em suspensão concentrada (SC) isolados e associados a diferentes adjuvantes (ponta AIXR11003)

Produto (SC)	Sem Adj.	Ochima®	TA 35 Gold®	Surfom ADJ 8860®	Xtend2® Protect 2	Silwet® L-77 Ag
Ampligo®	377,7 aA	384,4 aA	370,8 aA	377,6 aA	523,2 cA	404,0 bA
Minecto Pro®	391,9 aB	393,2 aC	398,7 cC	381,3 aA	472,8 dB	455,4 bC
Miravis Duo®	393,5 bB	384,5 aA	377,8 cA	395,6 bC	490,5 dC	377,8 cB
Priori Xtra®	391,3 bB	371,3 aD	392,4 bC	377,9 dA	491,2 eC	385,2 cD
Calaris®	393,4 bB	353,8 aB	235,5 cB	361,0 aB	454,0 dB	365,3 aB

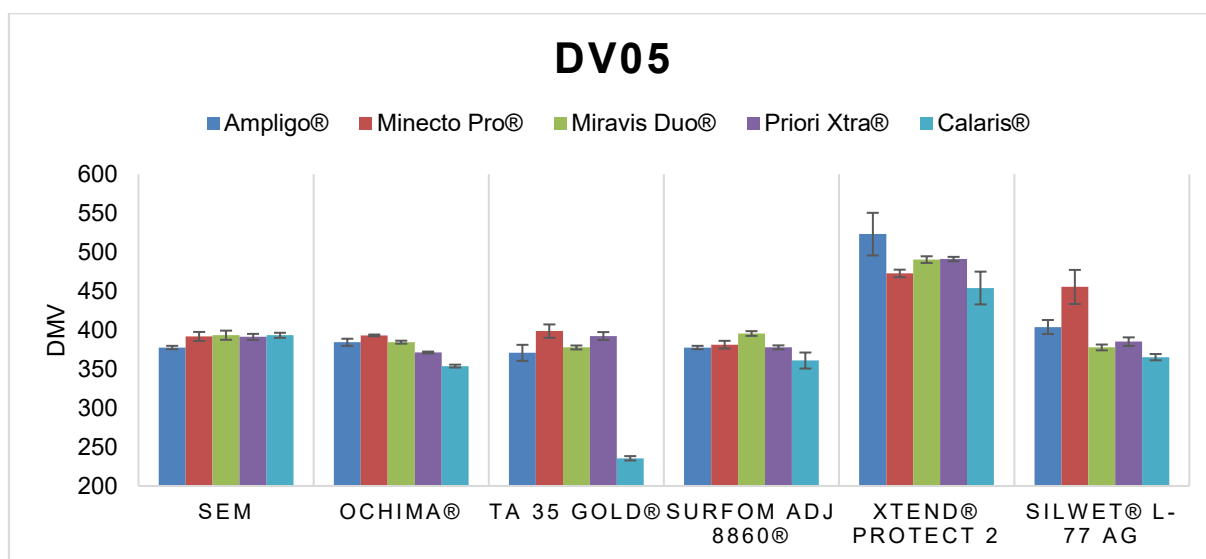
DV_{0,5} em µm. Letras minúsculas nas linhas comparam adjuvantes dentro de cada produto (SC) e letras maiúsculas nas colunas comparam produtos (SC) dentro de cada adjuvante; médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A Figura 2 sintetiza graficamente essas tendências. Observa-se que as curvas associadas ao produto Xtend® Protect 2 apresentam picos recorrentes, enquanto TA 35 Gold® e, em diversas situações envolvendo formulações SC, Silwet® L-77 Ag® exibem perfis mais baixos.

Os produtos Ochima® e Surfom ADJ 8860® mantêm comportamento intermediário ao longo das combinações avaliadas. A separação entre as curvas evidencia diferenças no padrão de resposta entre produto e adjuvante dentro da condição operacional analisada, reforçando a necessidade de avaliação estratificada por ponta de pulverização para interpretação adequada dos resultados (Sijs; Bonn, 2020).

Observa-se comportamento relativamente estável do Xtend® Protect 2, com elevação consistente do DV_{0,5} nas diferentes formulações em suspensão concentrada. TA 35 Gold® e Silwet® L-77 Ag exibem respostas marcadamente dependentes da formulação do produto, recomendando avaliação específica por mistura. Ochima® e Surfom ADJ 8860® tendem a produzir ajustes moderados, em geral próximos as caldas sem adjuvantes (Hołownicki *et al.*, 2021).

Figura 2 – DV0,5 por adjuvante na ponta AIXR11003 para cada produto em suspensão concentrada (médias com IC95%)



6.2.2 Percentual volumétrico de gotas <100 µm – AIXR

A Os resultados de V<100% obtidos com a ponta AIXR mostram padrão nítido no adjuvante Xtend® Protect 2, que apresentou, na maioria das formulações em suspensão concentrada, as menores proporções de gotas <100 µm Tabela 7.

Entre os produtos oleosos, Ochima® MSO exibiu variações discretas entre as SC, ao passo que TA 35 Gold® HSOC tendeu a valores mais altos de V<100% em várias combinações, o Surfom ADJ 8860® não iônico posicionou-se, em geral, em nível intermediário.

Esse comportamento reforça que os efeitos observados dependem da combinação específica do produto SC com o adjuvante e, portanto, da composição de cada mistura.

Tabela 7 – Percentual volumétrico de gotas menores que 100 µm (V<100%) de caldas fitossanitárias com produtos em suspensão concentrada (SC) isolados e associados a diferentes adjuvantes (ponta AIXR11003)

Produto (SC)	Sem Adj.	Ochima®	TA 35 Gold®	Surfom ADJ 8860®	Xtend2® Protect 2	Silwet® L-77 Ag
Ampligo®	2,93 bA	2,54 aA	3,47 dA	2,93 bA	1,84 eA	2,22 cA
Minecto Pro®	2,25 aB	2,31 aC	2,38 aC	2,57 aB	1,54 cC	6,95 bC
Miravis Duo®	2,47 aC	2,31 aC	2,62 bC	2,53 bB	1,66 cA	2,66 bB
Priori Xtra®	2,20 aB	2,30 aC	2,63 bC	2,68 bB	1,06 cD	2,62 bB
Calaris®	2,09 bB	3,23 aB	7,46 dB	2,64 cB	2,26 bB	2,71 cB

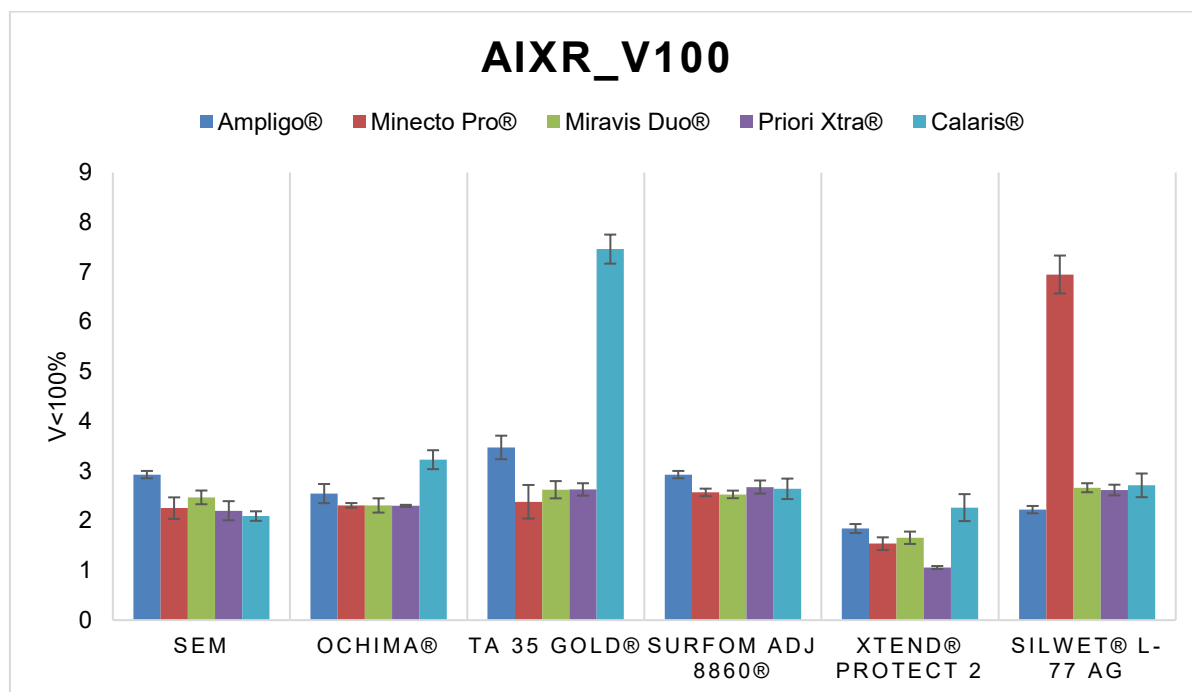
V<100% em %. Letras minúsculas nas linhas comparam adjuvantes dentro de cada produto (SC) e letras maiúsculas nas colunas comparam produtos (SC) dentro de cada adjuvante; médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A comparação entre adjuvantes na ponta AIXR evidencia três padrões nítidos. Xtend® Protect 2 apresenta, de modo recorrente, as menores proporções de gotas <100 µm entre as formulações avaliadas.

TA 35 Gold® concentra os maiores valores em diversas combinações. Silwet® L-77 Ag ocupa posição intermediária, com resposta dependente do produto, por vezes sem adjuvantes.

A Figura 3 corrobora essa leitura ao evidenciar a separação das curvas por adjuvante, com contraste claro entre os extremos representados por Xtend® Protect 2 e TA 35 Gold®. Comportamentos análogos, observados por produto e tipo de adjuvante sob diferentes pontas.

Figura 3 – Percentual volumétrico de gotas <100 µm (V<100%) por adjuvante na ponta AIXR11003 para cada produto em suspensão concentrada (médias com IC95%)



6.2.3 Amplitude relativa (AR) – AIXR

A amplitude relativa complementa o DV0,5 ao indicar a dispersão do espectro de tamanhos. Na ponta AIXR, observa-se, na Tabela 8, que a adição do polímero Xtend® Protect 2 se associa, de forma recorrente, aos menores valores de amplitude relativa dentro de cada formulação em suspensão concentrada, caracterizando distribuições mais concentradas (Carvalho *et al.*, 2017).

O comportamento é compatível com o papel de adjuvantes poliméricos como tecnologias de redução de deriva, cuja atuação é atribuída à alteração de propriedades reológicas e viscoelásticas da calda durante a atomização, com potencial para reduzir a geração de gotas muito finas e reorganizar a distribuição de tamanhos (Hewitt, 2024).

Ademais, evidências experimentais reportam que a resposta de polímeros sobre a dispersão do espectro não é universal e pode variar com condições operacionais e tecnologia de aplicação, incluindo situações em que determinados polímeros aumentaram a dispersão e a fração de gotas finas em aplicações aéreas, o

que reforça a necessidade de interpretar amplitude relativa de forma estratificada por ponta e condição de pulverização (Vieira *et al.*, 2018).

No contexto nacional, atributos de adjuvantes associados à deriva e ao espectro de gotas têm sido discutidos como dependentes da interação entre formulação e tecnologia de pulverização, sustentando a interpretação do comportamento da amplitude relativa como parte do efeito sistêmico de calda e ponta (Oliveira; Antuniassi; Gandolfo, 2015).

Entre os demais adjuvantes, nota-se comportamento graduado, o Ochima® promove reduções discretas de AR em diferentes SC, o TA 35 Gold® eleva a AR em várias combinações, indicando espectros mais heterogêneos, o Surfom ADJ 8860® permanece, em geral, próximo ao controle, e o Silwet® L-77 Ag) mantém AR igual ou superior ao “Sem adjuvante” em parte das misturas (Sijs; Bonn; Hosoi, 2020).

Tabela 8 – Amplitude relativa (AR) de caldas fitossanitárias com produtos em suspensão concentrada (SC) isolados e associados a diferentes adjuvantes (ponta AIXR11003)

Produto (SC)	Sem Adj.	Ochima®	TA 35 Gold®	Surfom ADJ 8860®	Xtend2® Protect 2	Silwet® L-77 Ag
Ampligo®	1,31 aA	1,21 aA	1,40 bA	1,31 aA	1,07 cA	1,34 bA
Minecto Pro®	1,32 bB	1,19 aA	1,29 bB	1,30 bA	1,10 dA	1,41 cA
Miravis Duo®	1,26 bC	1,18 aA	1,33 cA	1,26 bA	1,10 dA	1,26 bB
Priori Xtra®	1,25 bC	1,14 aB	1,26 bB	1,32 cA	1,05 dC	1,27 bB
Calaris®	1,26 aA	1,23 aA	1,39 cA	1,27 aA	1,27 dB	1,32 bA

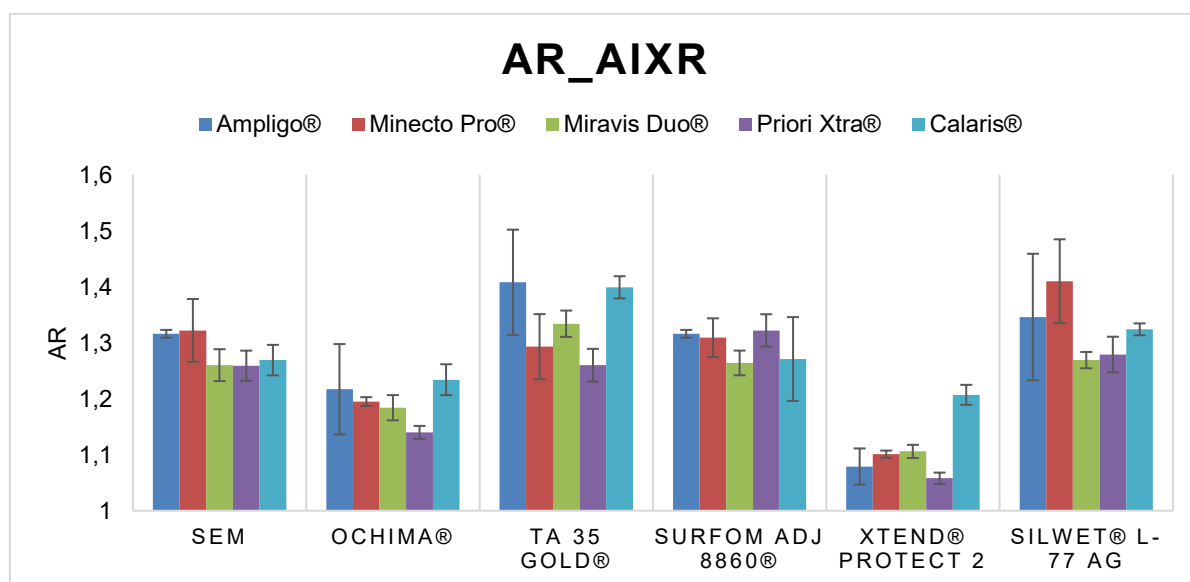
AR adimensional. Letras minúsculas nas linhas comparam adjuvantes dentro de cada produto (SC) e letras maiúsculas nas colunas comparam produtos (SC) dentro de cada adjuvante médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Observa-se um padrão hierárquico entre os tratamentos o Xtend® Protect 2 mantém, de forma recorrente, os menores valores de AR, enquanto TA 35 Gold®

concentra os maiores, com respostas intermediárias para Ochima®, Surfom ADJ 8860® e Silwet® L-77 Ag.

Essa organização, como ilustrado na Figura 4, é consistente com a Tabela 8 e com as tendências previamente descritas para DV_{0,5} e V<100%, convergindo para uma diretriz operacional na AIXR, quando se pretende elevar o diâmetro mediano volumétrico sem ampliar a dispersão do espectro, o polímero apresenta desempenho mais previsível as demais alternativas devem ser ponderadas caso a caso, em função da formulação em SC e do perfil de gotas desejado (Alves *et al.*, 2018).

Figura 4 – Amplitude relativa (AR) por adjuvante na ponta AIXR11003 para cada produto em suspensão concentrada (médias com IC95%)



6.3 Interação SC com adjuvante na ponta XR

6.3.1 Diâmetro mediano volumétrico (DV_{0,5}) — XR

Os resultados de DV_{0,5} com a ponta XR indicam espectros de gotas finas comparados à AIXR, como esperado para ponta leque sem indução de ar. Ainda assim, observa-se clara modulação pelo tipo de adjuvante (Tabela 9). Em todas as formulações em SC, o Xtend® Protect 2 posicionou-se entre as maiores médias de DV_{0,5}, evidenciando capacidade de elevar o diâmetro mediano mesmo em engenharia de ponta que favorece a produção de gotas menores (Hewitt, 2024).

Tabela 9 – Diâmetro mediano volumétrico (DV0,5) de caldas fitossanitárias com produtos em suspensão concentrada (SC) isolados e associados a diferentes adjuvantes (ponta XR11003)

Produto (SC)	Sem Adj.	Ochima®	TA 35 Gold®	Surfom ADJ 8860®	Xtend2® Protect 2	Silwet® L-77 Ag
Ampligo®	187,2 bA	212,4 aA	179,8 cA	200,6 bA	323,0 dA	221,3 aA
Minecto Pro®	188,1 bA	223,2 aB	189,4 dC	184,5 bC	280,0 eB	174,6 cC
Miravis Duo®	261,6 bC	228,5 aC	182,7 eA	196,3 dA	317,8 fA	218,7 cA
Priori Xtra®	189,7 bA	227,2 aB	195,5 cD	183,0 bC	323,4 dA	200,4 cD
Calaris®	201,7 aB	211,4 aA	209,9 aB	191,2 bB	284,7 cB	192,8 bB

DV0,5 em µm. Letras minúsculas nas linhas comparam adjuvantes dentro de cada produto (SC) e letras maiúsculas nas colunas comparam produtos (SC) dentro de cada adjuvante; médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

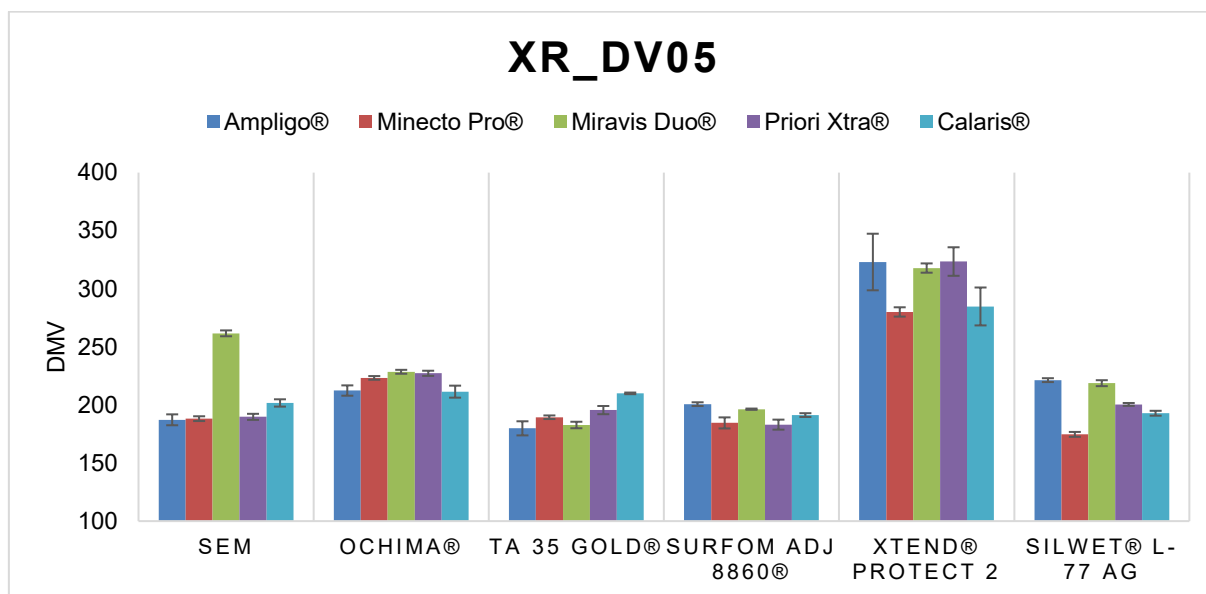
O Ochima® elevou o DV0,5 em alguns produtos e foi neutro ou ligeiramente redutor em outros. TA 35 Gold® mostrou comportamento heterogêneo entre as SC, nos quais a redução acentuada da tensão superficial pode favorecer a formação de diâmetros menores quando não há contrapeso reológico ou ganho de energia de pulverização (Sijs; Bonn; Hosoi, 2020).

Para o Surfom ADJ 8860®, a resposta ficou entre intermediária e levemente redutora. Já o Silwet® L-77 Ag apresentou valores frequentemente entre os mais

baixos dentro de cada SC, alinhado ao superespalhamento e à tensão superficial dinâmica muito baixa típicos dos trissiloxanos (Iost; Raetano, 2010).

A Figura 5 ilustra essas tendências com picos nítidos para o polímero e curvas inferiores para HSOC e silicone, confirmando a maior sensibilidade da XR às mudanças físico-químicas da calda.

Figura 5 – DV0,5 por adjuvante na ponta XR11003 para cada produto em suspensão concentrada (médias com IC95%)



6.3.2 Percentual volumétrico de gotas <100 µm — XR

A Tabela A distribuição V<100% na XR acompanha a lógica observada para o DV0,5, valores absolutos mais altos que na AIXR e forte dependência do adjuvante (Tabela 11).

O polímero concentrou as menores frações de gotas <100 µm na maioria das SC, evidenciando compressão do espectro e redução de gotículas muito pequenas (Madureira; Raetano; Cavalieri, 2015).

Tabela 11 – Percentual volumétrico de gotas menores que 100 µm (V<100%) de caldas fitossanitárias com produtos em suspensão concentrada (SC) isolados e associados a diferentes adjuvantes (ponta XR11003)

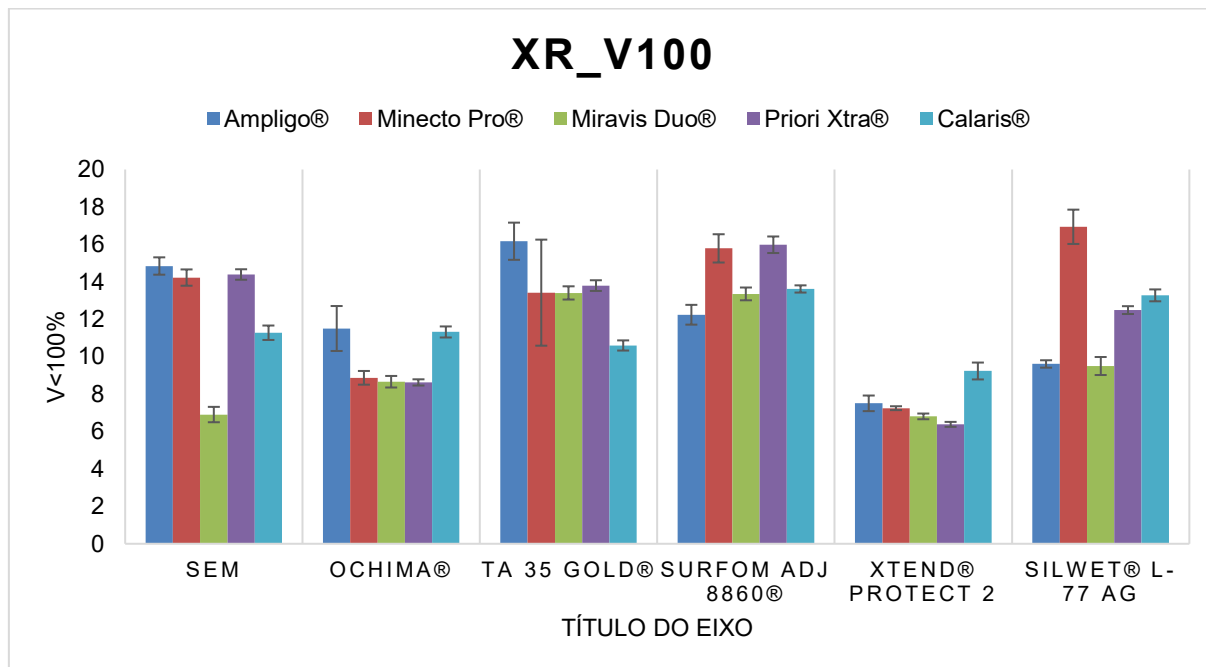
Produto (SC)	Sem Adj.	Ochima®	TA 35 Gold®	Surfom ADJ 8860®	Xtend2® Protect 2	Silwet® L-77 Ag
Ampligo®	14,84 bA	11,50 aA	16,17 dA	12,24 aA	7,51 eA	9,61 cA
Minecto Pro®	14,23 bC	8,87 aB	13,42 dC	15,79 bC	7,25 aA	16,94 cC
Miravis Duo®	6,91 bD	8,66 aB	13,41 dC	13,35 dB	6,81 bC	9,50 cA
Priori Xtra®	14,39 bA	8,62 aB	13,80 eC	15,98 dC	6,38 fC	12,49 cD
Calaris®	11,28 aB	11,32 aA	10,60 cB	13,62 bB	9,23 dB	13,28 bB

V<100% em %. Letras minúsculas nas linhas comparam adjuvantes dentro de cada produto (SC) e letras maiúsculas nas colunas comparam produtos (SC) dentro de cada adjuvante; médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Entre os produtos oleosos, Ochima® e TA 35 Gold®, formulados respectivamente à base de MSO e HSOC, observaram-se tendências distintas no comportamento de V<100% de modo geral, Ochima® esteve associado a reduções recorrentes da fração volumétrica de gotas finas em diferentes produtos SC, enquanto TA 35 Gold® tendeu a elevar essa fração em parte das combinações, padrão frequentemente relacionado ao acentuado decréscimo de tensão superficial característico de concentrados com elevada carga de tensoativos (HILZ; VERMEER, 2013).

O adjuvante Surfom ADJ 8860® (não iônico) apresentou efeitos moderados, em muitos casos próximos ao controle, sugerindo atuação intermediária na modulação do espectro. Para o silicone Silwet® L-77 Ag®, verificaram-se respostas contrastantes entre produtos SC, compatíveis com o superespalhamento e a redução pronunciada da tensão superficial dinâmica, condição que pode intensificar a formação de gotas finas quando a arquitetura do bico não compensa a queda de tensão (Costa *et al.*, 2017).

Figura 6 – Percentual volumétrico de gotas <100 µm (V<100%) por adjuvante na ponta XR11003 para cada produto em suspensão concentrada (médias com IC95%)



6.3.3 Amplitude relativa (AR) — XR

A amplitude relativa (AR) na XR revela um quadro complementar ao DV_{0,5} e ao V<100% (Tabela 12). Em termos gerais, o polímero apresentou AR mais elevada que as demais classes, indicando maior polidispersidade do espectro quando combinado a ponta sem indução de ar interpretação coerente com a mudança do modo de ruptura provocada pela alteração reológica da calda (Wang *et al.*, 2016).

Importa notar que, mesmo com AR mais alta, o polímero elevou o DV_{0,5} e reduziu V<100% nas principais SC (vide Tabelas 9 e 11), caracterizando deslocamento do conjunto para diâmetros maiores sem intensificar a presença de gotas muito pequenas (Spanoghe *et al.*, 2007).

Tabela 12 – Amplitude relativa (AR) de caldas fitossanitárias com produtos em suspensão concentrada (SC) isolados e associados a diferentes adjuvantes (ponta XR11003)

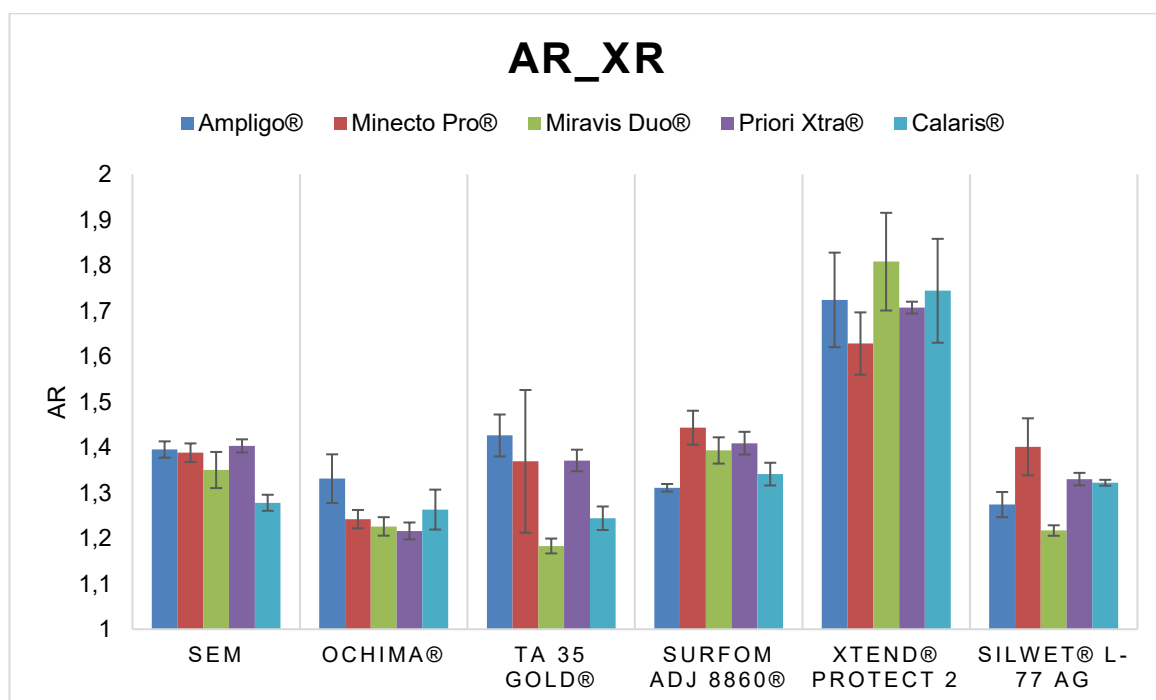
Produto (SC)	Sem Adj.	Ochima®	TA 35 Gold®	Surfom ADJ 8860®	Xtend2® Protect 2	Silwet® L-77 Ag
Ampligo®	1,39 aA	1,33 aA	1,42 cA	1,31 bA	1,72 dA	1,27 bA
Minecto Pro®	1,38 bA	1,24 aB	1,36 bA	1,44 bB	1,62 cA	1,40 bB
Miravis Duo®	1,30 bC	1,22 aB	1,18 aB	1,39 bC	1,80 cB	1,21 aC
Priori Xtra®	1,40 bA	1,21 aB	1,37 dA	1,40 bB	1,70 eA	1,33 cD
Calaris®	1,27 aB	1,26 aB	1,24 bB	1,34 aA	1,74 cA	1,32 aA

AR adimensional. Letras minúsculas nas linhas comparam adjuvantes dentro de cada produto (SC) e letras maiúsculas nas colunas comparam produtos (SC) dentro de cada adjuvante médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os adjuvantes de base oleosa mantiveram valores intermediários de AR, próximos tratamentos sem adjuvantes em várias combinações, o que está de acordo com seu papel mais pronunciado sobre aderência espalhamento do que sobre a uniformidade fina do espectro (Melo *et al.*, 2015).

O silicone figurou entre as menores AR em diferentes SC, como esse adjuvante tendeu a reduzir DV0,5 e elevar V<100% em parte das combinações (Tabela 11), a uniformidade obtida resulta de uma concentração relativa em diâmetros menores, o que reforça a necessidade de seleção por objetivo de tamanho de gota (Iost; Raetano, 2010).

Figura 7 – Amplitude relativa (AR) por adjuvante na ponta XR11003 para cada produto em suspensão concentrada (médias com IC95%)



7 CONCLUSÕES

A ponta de pulverização foi determinante para o espectro de gotas. A AIXR apresentou maior diâmetro mediano volumétrico e menores percentual de gotas menores que 100 micrometros e amplitude relativa que a XR, o que coloca a seleção da ponta como decisão primária por definir o padrão de distribuição sobre o qual os demais fatores atuam.

Houve interação entre as cinco suspensões concentradas e as classes de adjuvantes. O polímero aumentou o diâmetro de gotas na maioria das combinações, o concentrado de óleo com alto teor de surfactante reduziu, o organossiliconado variou conforme a formulação, e o óleo vegetal modificado e o não iônico mostraram efeitos intermediários.

REFERÊNCIAS

- ABNT. ABNT NBR 13875:2014. Agrotóxicos e afins: avaliação de compatibilidade físico-química. Rio de Janeiro: **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, 2014. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/10489/abnt-nbr13875-agrotoxicos-e-afins-avaliacao-de-compatibilidade-fisico-quimica>. Acesso em: 22 fev. 2026.
- ADULES, J.; VIDAL, M.; BONÉ, A.; GIL, E.; GARCÍA RAMOS, F. J. Biphasic computational fluid dynamics modelling of the mixture in an agricultural sprayer tank. **Molecules**, v. 25, n. 8, art. 1870, 2020. DOI: 10.3390/molecules25081870. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules25081870>. Acesso em: 22 fev. 2026.
- AERS, M. A. *et al.* Suspension concentrate crop protection formulation design and performance for low spray volume and UAS spray application. **Pest Management Science**, v. 80, n. 2, p. 220-234, 2024. DOI: 10.1002/ps.7707. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ps.7707>. Acesso em: 22 fev. 2026.
- ALVES, G. S.; KRUGER, G. R.; CUNHA, J. P. A. R. Spray drift and droplet spectrum from dicamba sprayed alone or mixed with adjuvants using air induction nozzles. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 6, p. 693-702, 2018. DOI: 10.1590/S1678-3921.pab2018.v53.25993. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2018.v53.25993>. Acesso em: 22 fev. 2026.
- ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação: culturas anuais**. 2. ed. Botucatu: FEPAF, 2019. Disponível em: <https://www.fepaf.org.br/loja/fepaf/livro-fisico/tecnologia-de-aplicacao-culturas-anuais-2a-edicao/>. Acesso em: 22 fev. 2026.
- ASTM INTERNATIONAL. ASTM E1518-05(2019). Standard practice for evaluation of physical compatibility of pesticides in aqueous tank mixtures by the dynamic shaker method. **West Conshohocken: ASTM International**, 2019. Disponível em: https://img.antpedia.com/standard/files/pdfs_or/20230612/astm/E/E%201518%20-%2005%20%282019%29.pdf. Acesso em: 22 fev. 2026.
- AZEVEDO, F. R.; FREIRE, F. C. O. Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas. Fortaleza: **Embrapa Agroindústria Tropical**, 2006. 47 p. (Documentos, 102). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/426350/1/Dc102.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2026.
- BANKS, S. J. Smart formulation for precise crop protection. 2020. Tese (Doutorado) – Newcastle University, **Newcastle upon Tyne**, 2020. Disponível em: <https://theses.ncl.ac.uk/jspui/bitstream/10443/5075/1/Banks%20S%20E-Copy.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2026.
- BOONUPARA, T.; UDOMKUN, P.; KHAN, E.; KAJITVICHYANUKUL, P. Airborne pesticides from agricultural practices: a critical review of pathways, influencing factors, and human health implications. **Toxics**, v. 11, n. 10, art. 858, 2023. DOI: 10.3390/toxics11100858. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/toxics11100858>. Acesso em: 22 fev. 2026.

BRASIL. **Lei nº 7.802**, de 11 de julho de 1989. Dispõe sobre agrotóxicos e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 1989. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7802.htm. Acesso em: 22 fev. 2026.

BRASIL. **Decreto nº 4.074**, de 4 de janeiro de 2002. Regulamenta a Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989. Brasília, DF: Presidência da República, 2002. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/D4074.htm. Acesso em: 22 fev. 2026.

BUENO, M. R.; CUNHA, J. P. A. R.; SANTANA, D. G. Droplet size of spray nozzles in different operational conditions using laser diffraction technique. **Engenharia Agrícola**, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/287740579_Droplet_size_of_spray_nozzles_in_different_operational_conditions_using_laser_diffraction_technique. Acesso em: 22 fev. 2026.

BUTTS, T. R. The confusing world of adjuvants. **Fayetteville: University of Arkansas System Division of Agriculture**, 2020. Disponível em: <https://www.uaex.uada.edu/>. Acesso em: 22 fev. 2026.

CARVALHO, F. K. *et al.* Viscosity, surface tension and droplet size of sprays of different formulations of insecticides and fungicides. **Crop Protection**, v. 101, p. 19-23, 2017. DOI: 10.1016/j.cropro.2017.07.014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.07.014>. Acesso em: 22 fev. 2026.

CASTRO, E. B. *et al.* Influence of adjuvants on the surface tension, deposition and effectiveness of herbicides in pre-emergence. **Planta Daninha**, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pd/a/zYgZTmFYdPtCYBfN4NJrHDp/>. Acesso em: 22 fev. 2026.

CHECHETTO, R. G.; ANTUNIASSI, U. R. Espectro de gotas gerado por diferentes adjuvantes e pontas de pulverização. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 27, n. 3, p. 130-142, 2012. DOI: 10.17224/EnergAgric.2012v27n3p130-142. Disponível em: <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2012v27n3p130-142>. Acesso em: 22 fev. 2026.

CHECHETTO, R. G.; ANTUNIASSI, U. R. Influence of spray nozzles and adjuvants in drift reduction. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, 2013. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/9493>. Acesso em: 22 fev. 2026.

CHEN, J. C. *et al.* Toxicity and control efficacy of an organosilicone to the two-spotted spider mite and its crop hosts. **Insects**, v. 13, n. 4, art. 341, 2022. DOI: 10.3390/insects13040341. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/insects13040341>. Acesso em: 22 fev. 2026.

COSTA, L. L. *et al.* Droplet spectra and surface tension of spray solutions by biological insecticide and adjuvants. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 2, p. 292-301, 2017. DOI: 10.1590/1809-4430-eng.agric.v37n2p292-301/2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v37n2p292-301/2017>. Acesso em: 22 fev. 2026.

CUNHA, J. P. A. R.; BUENO, M. R.; FERREIRA, M. C. Espectro de gotas de pontas de pulverização com adjuvantes de uso agrícola. **Planta Daninha**, v. 28, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pd/a/bwpVFzKPQ33FYdp3VyMPBvp/>. Acesso em: 22 fev. 2026.

CUNHA, J. P. A. R. *et al.* Use of ultra coarse droplets at different spray volumes to improve deposition and reduce drift potential. **Engenharia Agrícola**, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/jvsc5ZgHbWZMJfqYbN9rBRq/>. Acesso em: 22 fev. 2026.

DEVKOTA, P.; JOHNSON, W. G. Effect of carrier water hardness and ammonium sulfate on efficacy of 2,4-D choline and premixed 2,4-D choline plus glyphosate. **Weed Technology**, v. 30, n. 4, p. 878-887, 2016. DOI: 10.1614/WT-D-16-00040.1. Disponível em: <https://doi.org/10.1614/WT-D-16-00040.1>. Acesso em: 22 fev. 2026.

DORR, G. J. *et al.* Spray retention on whole plants: modelling, simulations and experiments. **Crop Protection**, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S026121941630134X>. Acesso em: 22 fev. 2026.

FRANÇA, J. A. L.; CUNHA, J. P. A. R.; ANTUNIASSI, U. R. Spectrum and velocity of droplets of spray nozzles with and without air induction. **Engenharia Agrícola**, v. 38, n. 2, p. 232-240, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/BL6hz8PvPrDdn59N9Z9Vj6B/?lang=en>. Acesso em: 22 fev. 2026.

FRITZ, B. K. *et al.* Measurement and classification methods using the ASAE S572.1 reference nozzles. **Transactions of the ASABE**, 2012. Disponível em: <https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/30910515/Publications/2012/Fritz%20ASABE%20Classification.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2026.

FRITZ, B. K. *et al.* Measuring spray droplet size from agricultural nozzles using laser diffraction. **Journal of Visualized Experiments**, v. 115, e54584, 2016. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5092022/>. Acesso em: 22 fev. 2026.

GULER, H. *et al.* Spray characteristics and drift reduction potential with air induction and conventional flat fan nozzles. **Transactions of the ASABE**, v. 50, n. 3, p. 745-754, 2007. DOI: 10.13031/2013.23129. Disponível em: <https://doi.org/10.13031/2013.23129>. Acesso em: 22 fev. 2026.

HAZEN, J. L. Adjuvants terminology, classification and chemistry. **Weed Technology**, v. 14, n. 4, p. 773-784, 2000. DOI: 10.1614/0890-037X(2000)014[0773:ATCAC]2.0.CO;2. Disponível em: <https://doi.org/10.1614/0890-037X%282000%29014%5B0773:ATCAC%5D2.0.CO;2>. Acesso em: 22 fev. 2026.

HE, D. C. *et al.* Emission of volatile organic compounds from application of commercial pesticides in China. **Journal of Environmental Management**, v. 316, art. 115069, 2022. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.115069. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115069>. Acesso em: 22 fev. 2026.

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

10.1016/j.cropro.2012.10.020. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.10.020>. Acesso em: 22 fev. 2026.

HOŁOWNICKI, R. *et al.* Effect of nozzle type and adjuvants on spray coverage on apple leaves. **Agronomy**, v. 11, n. 9, art. 1790, 2021. DOI: 10.3390/agronomy11091790. Disponível em:
<https://doi.org/10.3390/agronomy11091790>. Acesso em: 22 fev. 2026.

HU, P. *et al.* Effect of polymer adjuvant type and concentration on spray droplet size distribution and drift potential. **Agriculture**, v. 14, n. 3, art. 404, 2024. DOI: 10.3390/agriculture14030404. Disponível em:
<https://doi.org/10.3390/agriculture14030404>. Acesso em: 22 fev. 2026.

HU, X. *et al.* Contrasting impacts of mixed nonionic surfactant micelles on plant growth in the delivery of fungicide and herbicide. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 618, p. 78-87, 2022. DOI: 10.1016/j.jcis.2022.03.002. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.jcis.2022.03.002>. Acesso em: 22 fev. 2026.

IOST, C. A. R.; RAETANO, C. G. Tensão superficial dinâmica e ângulo de contato de soluções aquosas com surfatantes em superfícies artificiais e naturais. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 4, p. 670-680, 2010. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/eagri/a/KxRskt3SQmGhKcdc3bKpDhJ/>. Acesso em: 22 fev. 2026.

İTMEÇ, M. *et al.* Assessment of spray drift with various adjuvants in a wind tunnel. **Agronomy**, v. 12, n. 10, art. 2377, 2022. DOI: 10.3390/agronomy12102377. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy12102377>. Acesso em: 22 fev. 2026.

JOMANTAS, T. *et al.* The influence of newly developed spray drift reduction agents on drift mitigation by means of wind tunnel and field evaluation methods. **Agriculture**, v. 13, n. 2, art. 349, 2023. DOI: 10.3390/agriculture13020349. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture13020349>. Acesso em: 22 fev. 2026.

JUNGERS, G. *et al.* Petroleum in pesticides: a need to change regulatory toxicology. **Toxics**, v. 10, n. 11, art. 670, 2022. DOI: 10.3390/toxics10110670. Disponível em:
<https://doi.org/10.3390/toxics10110670>. Acesso em: 22 fev. 2026.

KAH, M.; WENIGER, A. K.; HOFMANN, T. Impacts of nanoformulations on the fate of an insecticide in soil and consequences for environmental exposure assessment. **Environmental Science and Technology**, v. 50, n. 20, p. 10960-10967, 2016. DOI: 10.1021/acs.est.6b02477. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b02477>. Acesso em: 22 fev. 2026.

KAMMLER, K. J.; WALTERS, S. A.; YOUNG, B. G. Effects of adjuvants, halosulfuron, and grass herbicides on Cucurbita spp. injury and grass control. **Weed Technology**, v. 24, n. 2, p. 147-152, 2010. DOI: 10.1614/WT-D-09-00015.1. Disponível em: <https://doi.org/10.1614/WT-D-09-00015.1>. Acesso em: 22 fev. 2026.

LEWIS, R. W.; MACPHEE, T.; PHILLIPS, T. N.; WARD, C. Polymeric drift control adjuvants for agricultural spraying. **Macromolecular Chemistry and Physics**, 2016.

DOI: 10.1002/macp.201600139. Disponível em:
<https://doi.org/10.1002/macp.201600139>. Acesso em: 22 fev. 2026.

MACIEL, C. D. G. *et al.* Tecnologia de aplicação de pesticidas. **Londrina: Embrapa Soja**, 2025. (Documentos, 477). Disponível em:
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1179274/1/DOC-477.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2026.

MADUREIRA, R. P.; RAETANO, C. G.; CAVALIERI, J. D. Interação pontas-adjuvantes na estimativa do risco potencial de deriva de pulverizações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 180-185, 2015. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v19n2p180-185. Disponível em:
<https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n2p180-185>. Acesso em: 22 fev. 2026.

MASSINON, M.; LEBEAU, F. Review of physicochemical processes involved in agrochemical spray retention. **Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement**, v. 17, n. 3, p. 494-504, 2013. Disponível em:
<https://popups.uliege.be/1780-4507/index.php?id=10254>. Acesso em: 22 fev. 2026.

MATTHEWS, G. A.; BATEMAN, R.; MILLER, P. Pesticide application methods. 4. ed. **Chichester: Wiley Blackwell**, 2014. Disponível em:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118351284>. Acesso em: 22 fev. 2026.

MELO, A. A.; USANO ALEMANY, J.; GUEDES, J. V. C.; HUNSCHE, M. Impact of tank mix adjuvants on deposit formation, cuticular penetration and rain-induced removal of chlorantraniliprole. **Crop Protection**, v. 78, p. 253-262, 2015. DOI: 10.1016/j.cropro.2015.09.021. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.09.021>. Acesso em: 22 fev. 2026.

MILANOWSKI, M. *et al.* Effect of adjuvant, concentration and water type on the droplet size characteristics of agricultural sprays. **Applied Sciences**, v. 12, n. 12, art. 5821, 2022. DOI: 10.3390/app12125821. Disponível em:
<https://doi.org/10.3390/app12125821>. Acesso em: 22 fev. 2026.

MORAES, H. M. F. *et al.* Physical compatibility and stability of pesticide mixtures at different tank mixing times. **Planta Daninha**, v. 37, e019205613, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pd/a/MtZHBpprYTXzrGgvJdwqJSq/>. Acesso em: 22 fev. 2026.

MORAES, J. G. *et al.* Nozzle selection and adjuvant impact on the efficacy of glyphosate and PPO inhibiting herbicide tank mixtures. **Agronomy**, v. 11, n. 4, art. 754, 2021. DOI: 10.3390/agronomy11040754. Disponível em:
<https://doi.org/10.3390/agronomy11040754>. Acesso em: 22 fev. 2026.

MOTA, A. A. B.; ANTUNIASSI, U. R. Influência de adjuvantes no espectro de gotas de ponta com indução de ar. **Energia na Agricultura, Botucatu**, v. 28, n. 1, p. 1-5, 2013. DOI: 10.17224/EnergAgric.2013v28n1p01-05. Disponível em:
<https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2013v28n1p01-05>. Acesso em: 22 fev. 2026.

NUYTTENS, D. *et al.* Effect of nozzle type, size and pressure on spray droplet characteristics. **Biosystems Engineering**, v. 97, n. 3, p. 333-345, 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511007000712>. Acesso em: 22 fev. 2026.

OHKOUCHI, T.; TSUJI, K. Basic technology and recent trends in agricultural formulation and application technology. **Journal of Pesticide Science**, v. 47, n. 4, p. 231-247, 2022. DOI: 10.1584/jpestics.D22-055. Disponível em: <https://doi.org/10.1584/jpestics.D22-055>. Acesso em: 22 fev. 2026.

OLIVEIRA, R. B. *et al.* Potential of adjuvants to reduce drift in agricultural spraying. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 6, p. 986-992, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/t7JjNKLnmGvLLhzq5ZsTbdf/>. Acesso em: 22 fev. 2026.

OLIVEIRA, R. B.; ANTUNIASSI, U. R.; GANDOLFO, M. A. Spray adjuvant characteristics affecting agricultural spraying drift. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 1, p. 109-116, 2015. DOI: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n1p109-116/2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n1p109-116/2015>. Acesso em: 22 fev. 2026.

PANNACCI, E.; MATHIASSEN, S. K.; KUDSK, P. Effect of adjuvants on the rainfastness and performance of tribenuron methyl on broad leaved weeds. **Weed Biology and Management**, v. 10, n. 2, p. 126-131, 2010. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1445-6664.2010.00376.x>. Acesso em: 22 fev. 2026.

PEIRCE, C. A. E. *et al.* The timing of application and inclusion of a surfactant are important for absorption and translocation of foliar phosphoric acid by wheat leaves. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, art. 1532, 2019. DOI: 10.3389/fpls.2019.01532. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01532>. Acesso em: 22 fev. 2026.

PENNER, D. Activator adjuvants. **Weed Technology**, v. 14, n. 4, p. 785-791, 2000. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/3988669>. Acesso em: 22 fev. 2026.

PREFTAKES, C. J. *et al.* Effect of insecticide formulation and adjuvant combination on agricultural spray drift. **PeerJ**, v. 7, e7136, 2019. DOI: 10.7717/peerj.7136. Disponível em: <https://doi.org/10.7717/peerj.7136>. Acesso em: 22 fev. 2026.

RAETANO, C. G.; CHECHETTO, R. G. Misturas em tanque. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. (ed.). **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. 2. ed. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2019. p. 49-65. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1179274/1/DOC-477.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2026.

RAKES, M.; GRÜTZMACHER, A. D.; PAZINI, J. B.; PASINI, R. A. Physicochemical compatibility of agrochemical mixtures in spray tanks for paddy field rice crops. **Planta Daninha**, v. 35, e017160815, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pd/a/nvNFFgTYt9y4bMwMLQ96cmf/>. Acesso em: 22 fev. 2026.

ROLANDO, C.; GASKIN, R.; HORGAN, D.; RICHARDSON, B. The use of adjuvants to improve uptake of phosphorous acid by *Pinus radiata* needles. **New Zealand Plant Protection**, 2014. DOI: 10.1186/s40490-014-0008-5. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40490-014-0008-5>. Acesso em: 22 fev. 2026.

ROLANDO, C. A.; GASKIN, R. E.; HORGAN, D. B.; RICHARDSON, B. Effect of dose and adjuvant on uptake of triclopyr and dicamba into *Pinus contorta* needles. **Plant Environment Interactions**, v. 1, n. 1, p. 57-66, 2020. DOI: 10.1002/pei3.10012. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/pei3.10012>. Acesso em: 22 fev. 2026.

SIJS, R.; BONN, D.; HOSOI, A. E. The effect of adjuvants on spray droplet size from hydraulic nozzles. **Pest Management Science**, v. 76, n. 10, p. 3487-3494, 2020. DOI: 10.1002/ps.5883. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ps.5883>. Acesso em: 22 fev. 2026.

SONG, Y. *et al.* The effects of adjuvants on the wetting and deposition of insecticide solutions on hydrophobic wheat leaves. **Agronomy**, v. 12, n. 9, art. 2148, 2022. DOI: 10.3390/agronomy12092148. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy12092148>. Acesso em: 22 fev. 2026.

SPANOGHE, P. *et al.* Influence of agricultural adjuvants on droplet spectra. **Pest Management Science**, v. 63, n. 1, p. 4-16, 2007. DOI: 10.1002/ps.1321. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ps.1321>. Acesso em: 22 fev. 2026.

STEVENS, P. J. G. Organosilicone surfactants as adjuvants for agrochemicals. **Pesticide Science**, v. 38, n. 2, p. 103-122, 1993. DOI: 10.1002/ps.2780380206. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ps.2780380206>. Acesso em: 22 fev. 2026.

STOCK, D.; BRIGGS, G. Physicochemical properties of adjuvants: values and applications. **Weed Technology**, v. 14, n. 4, 2000. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/weed-technology/article/physicochemical-properties-of-adjuvants-values-and-applications/EB32DFFE19181BBCA4043FF7CD9E1AAB>. Acesso em: 22 fev. 2026.

TAVARES, R. M.; CUNHA, J. P. A. R. Pesticide and adjuvant mixture impacts on the physical chemical properties, droplet spectrum, and absorption of spray applied in soybean crop. **AgriEngineering**, v. 5, n. 1, p. 646-659, 2023. DOI: 10.3390/agriengineering5010041. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriengineering5010041>. Acesso em: 22 fev. 2026.

TEIXEIRA, W. F.; VERONESE, R.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Organosilicone surfactant together with glyphosate in the control of *Brachiaria decumbens*. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 14, n. 1, p. 83-92, 2015. DOI: 10.7824/rbh.v14i1.393. Disponível em: <https://doi.org/10.7824/rbh.v14i1.393>. Acesso em: 22 fev. 2026.

VARGAS, B. C. *et al.* Determining drift in spray tips evaluated under different wind speeds. **Revista Ciência Agrônômica**, 2025. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/4XHdKpcWr764cybfXMW3nZw/>. Acesso em: 22 fev. 2026.

VIEIRA, B. C. *et al.* Influence of airspeed and adjuvants on droplet size distribution in aerial applications of glyphosate. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 34, n. 3, p.

507-513, 2018. DOI: 10.13031/aea.12587. Disponível em: <https://doi.org/10.13031/aea.12587>. Acesso em: 22 fev. 2026.

VITTAL, L. V. M. *et al.* Analysis of plant cuticles and their interactions with agrochemical surfactants using a 3D printed diffusion chamber. **Plant Methods**, v. 19, art. 37, 2023. DOI: 10.1186/s13007-023-00999-y. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13007-023-00999-y>. Acesso em: 22 fev. 2026.

WANG, R.; DORR, G. J.; HEWITT, A. J.; COOPER-WHITE, J. J. Impacts of polymer surfactant interactions on spray drift. **Colloids and Surfaces A**, v. 500, p. 65-73, 2016. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2016.04.016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2016.04.016>. Acesso em: 22 fev. 2026.

WEISBROD, J. M.; PUCKETT, G. J. Testing pesticide mixtures for compatibility. NebGuide G2350. **Lincoln: University of Nebraska Lincoln Extension**, 2023. Disponível em: <https://extensionpubs.unl.edu/publication/g2350/2023/pdf/view/g2350-2023.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2026.

WHITFORD, F. *et al.* Avoid tank mixing errors: a guide to applying the principles of compatibility and mixing sequence. PPP 122. **West Lafayette: Purdue Extension**, 2018. Disponível em: <https://ag.purdue.edu/departament/extension/ppp/ppp-publications/ppp-122.html>. Acesso em: 22 fev. 2026.

WILSON, R. G. *et al.* Repeated reduced rates of broadleaf herbicides in combination with methylated seed oil for postemergence weed control in sugarbeet. **Weed Technology**, v. 19, n. 4, p. 855-860, 2005. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/weed-technology/article/repeated-reduced-rates-of-broadleaf-herbicides-in-combination-with-methylated-seed-oil-for-postemergence-weed-control-in-sugarbeet-beta-vulgaris/C917371A9B27F5932210E902C18FBD93>. Acesso em: 22 fev. 2026.

WIRTH, D.; ZOLLINGER, R. K. Increase in herbicide efficacy using high surfactant oil concentrate adjuvants. In: Pesticide formulation and delivery systems. **West Conshohocken: ASTM International**, 2018. (STP160220170017). DOI: 10.1520/STP160220170017. Disponível em: <https://doi.org/10.1520/STP160220170017>. Acesso em: 22 fev. 2026.

XU, G. *et al.* Effects of different spray adjuvants on the permeation of dinotefuran in rice leaves. **Agronomy**, v. 14, n. 3, art. 516, 2024. DOI: 10.3390/agronomy14030516. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy14030516>. Acesso em: 22 fev. 2026.

ZABKIEWICZ, J. A. Spray formulation efficacy: holistic and futuristic perspectives. **Crop Protection**, v. 26, n. 3, p. 312-319, 2007. DOI: 10.1016/j.cropro.2006.06.008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S026121940600250X>. Acesso em: 22 fev. 2026.

ZHANG, J. *et al.* The mechanism of methylated seed oil on enhancing biological efficacy of topramezone on weeds. **PLOS ONE**, v. 8, n. 11, e78180, 2013. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3782475/>. Acesso em: 22 fev. 2026.

ZHANG, S. P. *et al.* Influence of the hydrophilic moiety of polymeric surfactant on their surface activity and physical stability of pesticide suspension concentrate. **Journal of Molecular Liquids**, v. 317, art. 114136, 2020. DOI: 10.1016/j.molliq.2020.114136. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114136>. Acesso em: 22 fev. 2026

ZHANG, S. *et al.* Enhancing the stability and effectivity of multiple pesticide tank mixtures: evaluation by particle size, zeta potential and multiple light scattering. **ACS Sustainable Chemistry and Engineering**, 2023. DOI: 10.1021/acssuschemeng.3c04446. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.3c04446>. Acesso em: 22 fev. 2026.