



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNCIA
INSTITUTO DE QUÍMICA

Tarcísio Faria dos Santos

**ADJUVANTES AGRÍCOLAS E SEUS COMPONENTES: UMA REVISÃO
BIBLIOGRÁFICA.**

Uberlândia – MG

Fevereiro/2024

Tarcísio Faria Dos Santos

**ADJUVANTES AGRÍCOLAS E SEUS COMPONENTES: UMA REVISÃO
BIBLIOGRÁFICA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de
Graduação em Química Industrial do Instituto de Química
da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito
para obtenção do título de Bacharel em Química
Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Welington de Oliveira Cruz

UBERLÂNDIA/MG

2024

FICHA DE APROVAÇÃO



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
Coordenação do Curso de Graduação em Química Industrial
Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1A, Sala 1A233 - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-
MG, CEP 38400-902
Telefone: (34) 3239-4103 - coqin@iqufu.ufu.br



ATA DE DEFESA - GRADUAÇÃO

Curso de Graduação em:	Química Industrial				
Defesa de:	Trabalho de Conclusão de Curso - GQB056				
Data:	19/04/2024	Hora de início:	09:00	Hora de encerramento:	11:35
Matrícula do Discente:	11711QID022				
Nome do Discente:	Tarcísio Faria dos Santos				
Título do Trabalho:	Adjuvantes agrícolas e seus componentes: uma revisão bibliográfica				
A carga horária curricular foi cumprida integralmente?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não				

Reuniu-se na na sala 212 do bloco 5RA no Campus Santa Mônica da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Coordenador do Curso de Graduação em Química Industrial, assim composta: Prof. Dr. Wellington de Oliveira Cruz - **Orientador**; Prof. Dr. Daniel Pasquini - Titular; Prof. Dr. Waldomiro Borges Neto - Titular e Prof. Dr. Alberto de Oliveira - Suplente.

Iniciando os trabalhos, o(a) presidente da mesa, Dr. Wellington de Oliveira Cruz, apresentou a Comissão Examinadora e o(a) candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao(à) discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do(a) discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do curso.

A seguir o(a) senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

(X) Aprovado(a) Nota: 88 pontos
() Reprovado(a)

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Wellington de Oliveira Cruz**, **Professor(a) do Magistério Superior**, em 19/04/2024, às 11:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Daniel Pasquini, Professor(a) do Magistério Superior**, em 19/04/2024, às 11:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Waldomiro Borges Neto, Professor(a) do Magistério Superior**, em 19/04/2024, às 11:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5320336** e o código CRC **240C63A3**.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos os colaboradores da Universidade Federal de Uberlândia por prestarem um ótimo serviço à sociedade e manterem a política de ensino público, gratuito e de qualidade.

Gostaria de agradecer ao meu orientador Welington de Oliveira Cruz, pela paciência, atenção e dedicação em me orientar nesse trabalho.

Gostaria de agradecer em especial aos professores do Instituto de Química, por compartilharem seu conhecimento e exigirem nada menos que a excelência dos alunos do curso de Química Industrial.

Gostaria de agradecer à minha família, que mesmo distante, me deram todo o suporte possível para concluir o curso.

Por fim, gostaria de agradecer a um grupo de amigos denominados “polentas”, obrigado, vocês fizeram essa jornada ser mais divertida.

RESUMO

Nesse trabalho foram apresentados os principais tipos de adjuvantes agrícolas, que foram divididos em dois grupos: surfactantes aditivos e aditivos de penetração, dentro de cada grupo há adjuvantes com características e funções distintas que causam modificação nas propriedades físicas das soluções de pulverizações. As nomenclaturas específicas, propriedades físico-químicas e a finalidade de cada um dos tipos de adjuvantes mais importantes e utilizados na atualidade foram esclarecidas por meio de uma revisão bibliográfica. Além disso, nesse trabalho foi abordada a técnica de medida de tensão superficial pelo método do tensiômetro de DuNouy, como também, a técnica de ângulo de contato da gota por meio de um goniômetro, que serve para avaliar se um composto possui características hidrofílicas ou hidrofóbicas.

Palavras chave: Adjuvantes agrícolas, surfactantes aditivos, aditivos de penetração, pulverização, tensão superficial, tensiômetro de DuNouy, ângulo de contato, goniômetro, hidrofílica, hidrofóbica.

ABSTRACT

In this work, the main types of agricultural adjuvants were presented, which were divided into two groups: surfactant additives and penetration additives. Within each group, there are adjuvants with distinct characteristics and functions that modify the physical properties of spray solutions. The specific nomenclatures, physicochemical properties, and purposes of each of the most important and commonly used types of adjuvants today were clarified through a literature review. Additionally, this work addressed the technique of measuring surface tension using the DuNouy tensiometer method, as well as the technique of drop contact angle using a goniometer, which serves to evaluate whether a compound has hydrophilic or hydrophobic characteristics.

Keywords: Agricultural adjuvants, additive surfactants, penetration additives, spraying, surface tension, DuNouy tensiometer, contact angle, goniometer, hydrophilic, hydrophobic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura química do nonilfenol etoxilado.....	19
Figura 2 – Aplicação da mistura defensivo agrícola e adjuvante.....	19
Figura 3 – Ângulo de contato entre as gotas e as folhas	20
Figura 4 – Estrutura molecular do trisiloxano.....	24
Figura 5 – Estrutura molecular do 4-octilfenol.	26
Figura 6 - Estrutura química do adjuvante comercial Silwet L-77®.....	29
Figura 7 – Exemplos de estruturas moleculares de óleos derivados de petróleo.....	31
Figura 8 – Estruturas moleculares de triglicerídeos e metil oleato.....	32
Figura 9 - Estrutura molecular da Ureia.....	33
Figura 10 - Estrutura molecular do Sulfato de Amônio.....	34
Figura 11 - Cutícula cerosa de uma folha vegetal.....	36
Figura 12 - Interação do anel de platina com o líquido.....	39
Figura 13 - Componentes de um goniômetro.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades físico-químicas do nonilfenol etoxilado.....	18
Tabela 2 - Propriedades físico-químicas do trisiloxano.....	24
Tabela 3 - Propriedades físico-químicas do 4-octilfenol	27
Tabela 4 - Propriedades físico-químicas da ureia	34
Tabela 5 - Propriedades físico-químicas do sulfato de amônio	36

SUMÁRIO

FICHA DE APROVAÇÃO	3
AGRADECIMENTOS	5
RESUMO.....	6
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS.....	9
1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS.....	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1 TENSÃO SUPERFICIAL E TENSOATIVOS	15
3.2.1 ADJUVANTES	18
3.2.2 ADJUVANTES SURFACTANTES	20
3.2.1 ADERENTES E SEUS COMPONENTES.....	21
3.2.2 EMULSIFICANTES	22
3.2.3 ESPALHANTES	23
3.2.4 MOLHANTES E SEUS COMPONENTES	24
3.2.5 DISPERSANTES E SEUS COMPONENTES	27
3.3 ADITIVOS DE PENETRAÇÃO.....	30
3.3.1 ÓLEOS VEGETAIS E MINERAIS	30
3.3.2 UREIA.....	32
3.3.3 SULFATO DE AMÔNIO	34
3.4 AGENTE PENETRANTE.....	36
3.5 MEDIDA DE TENSÃO SUPERFICIAL PARA ADJUVANTES E AVALIAÇÃO DE PERFORMANCE.....	38
3.5.1 MÉTODO DO ANEL DE DU NOUY	38

3.5.2	AVALIAÇÃO DO ÂNGULO DE CONTATO DA GOTA	40
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
	REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

O cenário agrícola brasileiro, reconhecido mundialmente por sua expressiva produção e inovação constante, enfrenta desafios complexos na busca por práticas sustentáveis e eficientes. Em meio a esse contexto, na categoria de insumos os adjuvantes agrícolas emergem como protagonistas silenciosos, desempenhando um papel vital na otimização das técnicas de aplicação de herbicidas, pesticidas e fertilizantes.

Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) a safra de grãos no ciclo 2022/2023 atingiu um novo recorde. Segundo o 12º levantamento, a produção está estimada em 322,8 milhões de toneladas. O volume representa um crescimento de 18,4% o que corresponde a 50,1 milhões de toneladas colhidas a mais que a temporada anterior. O resultado é reflexo tanto de uma maior área plantada, chegando a 78,5 milhões de hectares, como também de uma melhor produtividade média registrada (CONAB, 2023).

Os adjuvantes agrícolas têm sua parcela de méritos nesse aumento de produtividade, visto que, reduzem a quantidade de defensivos agrícolas utilizados mantendo a qualidade biológica da planta e reduzindo os custos da operação.

“Os adjuvantes são substâncias adicionadas à formulação com agroquímicos ou à calda contendo ingredientes ativos para aumentar a eficiência do produto ou modificar determinadas propriedades da solução, visando facilitar a aplicação ou minimizar possíveis problemas. Os adjuvantes são divididos em dois grupos: os modificadores das propriedades de superfície dos líquidos (surfactantes: espalhante, umectante, detergentes, dispersantes e aderentes, entre outros) e os aditivos (óleo mineral ou vegetal, sulfato de amônio e uréia, entre outros) que afetam a absorção devido à sua ação direta sobre a cutícula” (Vargas; Roman, 2019).

Diferentes tipos de surfactantes são utilizados para fornecer aos adjuvantes características específicas. A molécula de um surfactante, no geral, é dividida em duas partes, sendo uma hidrofílica, que se associa facilmente à água, e outra lipofílica, que se associa facilmente à óleos. Na formulação de adjuvantes agrícolas, a classe mais utilizada de surfactantes utilizada é a de tensoativos não-iônicos, utilizando valores de HLB (Hydrophilic-Lipophilic Balance), o HLB é um parâmetro utilizado para determinar como óleos e águas interagem, é possível escolher o surfactante certo para cada tipo de função específica na qual o adjuvante irá atuar. De acordo com Schultz (2009), antiespumantes possuem HLB de 1,5 a 3,0,

emulsões de água em óleo 3,0 a 8,0, agentes umectantes 7,0 a 9,0, detergentes 13,0 a 15,0, emulsões óleo em água 8,0 a 18,0 e co-solventes 12,0 a 18,0.

Este trabalho propõe uma análise sobre adjuvantes agrícolas, explorando seus tipos e funções além dos impactos na eficiência agrícola brasileira. À medida que o setor busca constantemente equilibrar a produtividade com a sustentabilidade, compreender o papel dessas substâncias torna-se essencial para uma abordagem holística nas práticas agrícolas. O uso de adjuvantes aumentou bastante ao longo dos últimos anos, principalmente pelo fato de que o mesmo resulta em um aumento da produção agrícola e na redução de custos.

“Certamente, um motivo de lucro obscureceu ainda mais a relação entre qualidade e desempenho com custo e valor. Em teoria, um adjuvante vale a quantidade adicional de herbicida necessária para alcançar um nível desejado de efeito. Um herbicida pode ter um custo superior a US\$100/kg, e os adjuvantes típicos são precificados entre 1 a 3% do custo do herbicida. Faz sentido econômico quando \$2 de adjuvante podem sustentar uma redução de 20 a 50% no uso de herbicida” (HAZEN, 2000, p.774).

Nesse trabalho serão descritas as duas diferentes categorias de adjuvantes, destacando suas contribuições específicas para a eficácia dos defensivos. Essas substâncias são divididas em dois grandes grupos, um grupo compreende adjuvantes modificadores e ativadores (Tu *et al* 2001). Existem inúmeros tipos de adjuvantes, no entanto, nesse trabalho serão abordados apenas as seguintes classes: aderentes, emulsificantes, espalhantes, molhantes, dispersantes, óleos, ureia e sulfato de amônio. Este estudo se insere, portanto, como forma de explicitar a importância dos adjuvantes agrícolas e visa entender os parâmetros físico-químicos de seus componentes e sua forma de atuação.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Esse trabalho tem como objetivo definir as terminologias, propriedades físico-químicas e funções de diferentes tipos de adjuvantes agrícolas, além de demonstrar duas técnicas que avaliam a tensão superficial dos adjuvantes agrícolas e como impactam em sua função.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar e descrever os diferentes tipos de adjuvantes agrícolas. Analisar os efeitos desses adjuvantes nas propriedades físicas das soluções de pulverização. Avaliar a aplicabilidade do tensiômetro de DuNouy e avaliação de performance de adjuvante pelo ângulo de contato da gota por meio de um goniômetro. Por fim, espera-se propor recomendações e diretrizes para o uso adequado de adjuvantes agrícolas, com base nos resultados obtidos na pesquisa, visando contribuir para o conhecimento e aprimoramento das práticas agrícolas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 TENSÃO SUPERFICIAL E TENSOATIVOS

A tensão superficial é uma propriedade física presente em líquidos, caracterizada pela capacidade da superfície do líquido de se comportar como se estivesse sob uma membrana elástica. Esse fenômeno ocorre devido à diferença nas forças de atração intermoleculares entre as moléculas na superfície e as moléculas no interior do líquido. A superfície do líquido age, então, como se estivesse sob uma tensão, tentando minimizar sua área superficial, enquanto as moléculas no interior do líquido possui forças de atração em todos os sentidos (Atkins; Jones, 2009).

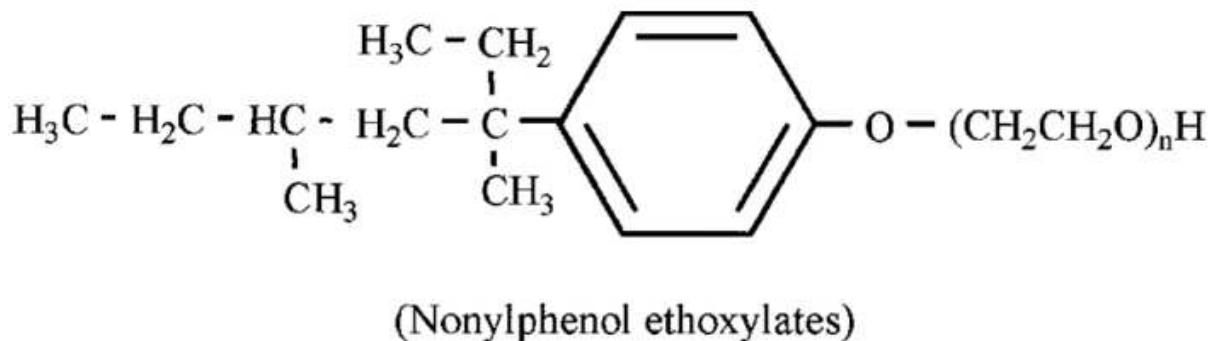
A tensão superficial é quantificada pela energia necessária para aumentar a área superficial de um líquido por unidade de área. Geralmente é medida em unidades de energia por área, como joules por metro quadrado (J/m^2). A água, por exemplo, possui uma tensão superficial relativamente alta devido às ligações de hidrogênio entre as moléculas de água com valor de aproximadamente 72 mN/m (CASTELLAN, 1983).

Esse fenômeno é responsável por diversos comportamentos observados em líquidos, como a formação de gotas esféricas e a capacidade de alguns insetos caminharem sobre a água. Além disso, a tensão superficial é um parâmetro importante em várias aplicações industriais, como na produção de filmes finos e na determinação da viscosidade de líquidos (Atkins; Jones, 2009). Os adjuvantes agrícolas tem o papel de diminuir a tensão superficial da água em uma mistura com diferentes ingredientes ativos.

Segundo Daltin (2011) tensoativos, ou surfactantes (abreviação de agentes de superfície ativos), são compostos orgânicos anfipáticos que possuem em sua estrutura uma parte polar e outra apolar. A parte apolar, conhecida como cauda, é composta por uma ou duas cadeias de carbono, ou, alternativamente, por cadeias fluorocarbônicas ou siloxânicas. Enquanto isso, a parte polar, ou cabeça, pode conter grupos iônicos (cátions ou ânions), não iônicos ou anfóteros, que agem como ácido ou base, dependendo do pH do meio.

Um exemplo de tensoativo não iônico bastante empregado na formulação de adjuvantes agrícolas é o nonilfenol etoxilado, com sua estrutura química exemplificada pela Figura 1. Nonilfenol etoxilado é caracterizado como um surfactante não-iônico, ou seja, não se dissocia em íons em uma solução aquosa. O nonilfenol é muito empregado na formulação de adjuvantes pelo fato de não se dissociar em cátion ou ânion, muitos herbicidas possuem em sua estrutura sítios reativos para ácidos e bases de Lewis, assim, tensoativos aniônicos ou catiônicos são menos empregados pelo fato de poder ocorrer reações indesejadas, anulando o efeito do herbicida.

Figura 1 – Estrutura química do nonilfenol etoxilado



Fonte: HAZEN, J. L. Adjuvants: Terminology, Classification, and Chemistry.

Além dos tensoativos não-iônicos, há também, segundo a (Daltin, 2011) os tensoativos aniônicos, definidos como um agente surfactante com uma porção ativa da molécula sendo lipofílica, e um segmento contendo uma parte que forma um ânion em solução aquosa. Existem também os tensoativos catiônicos e anfotéricos, tensoativos catiônicos são semelhantes aos aniônicos, no entanto, em sua porção hidrofílica há uma parte que se dissocia em cátion numa solução aquosa. Já os anfóteros ou anfotéricos, podem se dissociar em cátions ou ânions dependendo do pH da solução.

Segundo Lorena, Sandra e Felipe (2017) devido à sua natureza anfifílica, os surfactantes, quando adicionados a um solvente polar como a água, tendem a se concentrar na superfície do solvente, ou seja, na interface entre o solvente e o ar. A presença das moléculas de surfactante na superfície reduz a força de coesão entre as moléculas do solvente, diminuindo, assim, a tensão superficial. Adicionalmente, após a saturação da superfície entre as duas fases (polar/apolar), a adição de mais moléculas de surfactante não resultará na redução da tensão superficial. Em vez disso, as moléculas de surfactante adicionadas interagem entre si para formar agregados moleculares chamados micelas, que podem se formar tanto no interior da fase polar quanto no interior da fase apolar. A concentração na qual esse processo de formação de micelas se inicia é conhecida como concentração micelar crítica (cmc), uma propriedade intrínseca e distintiva de cada surfactante. A cmc é influenciada pela natureza química do grupo hidrofóbico, do grupo hidrofílico, pela força iônica, temperatura e pela presença de eletrólitos.

De acordo com Hazen (2000) todos os tipos de surfactantes podem diminuir a tensão superficial para causar molhamento, mas questões de compatibilidade com herbicidas iônicos podem impedir o uso de um ou outro tipo. Para se formular cada adjuvante devem ser considerados os valores de HLB do tensoativo utilizado, preferencialmente são utilizados tensoativos não-iônicos.

Os tensoativos, ou surfactantes, desempenham um papel crucial nos adjuvantes agrícolas, conferindo-lhes propriedades essenciais que melhoram a eficácia das soluções de pulverização. A importância dos tensoativos reside em várias funções-chave. Os tensoativos reduzem a tensão superficial da água, permitindo que a solução de pulverização se espalhe mais uniformemente sobre as superfícies das plantas. Isso facilita a cobertura eficaz das folhas, aumentando a absorção dos defensivos. A adição de tensoativos também pode contribuir para a redução da deriva durante a aplicação, garantindo que os defensivos atinjam efetivamente as áreas destinadas, minimizando a contaminação ambiental (Azevedo; Freire, 2006). Na tabela 1 são apresentadas as propriedades físico-químicas do nonilfenol etoxilado.

Tabela 1 - Propriedades físico-químicas do nonilfenol etoxilado

Estado físico	Líquido
Cor	Incolor

Odor	Fraco
Valor do pH	6,5
Ponto de fusão	Não aplicável
Ponto de ebulição	> 250° C
Ponto de fulgor	247°C ASTM D93 – Copo Fechado 282°C ASTM D92 – Copo Aberto
Densidade	1,057 g/cm ³ (20° C)
Solubilidade em água	Completamente solúvel
Coefficiente de partição n-octanol/água	2,1 – 3,4

Fonte: Disponível em <https://agroquimicadonordeste.com.br/pdf/produtos/fispq-nonil-fenol-9_5-etoxilado-agroquimica.pdf> Acesso 11 de Mai. de 2024.

3.2.1 ADJUVANTES

Um adjuvante, no contexto agrícola, refere-se a uma mistura de produtos adicionados a defensivos agrícolas (como herbicidas, fungicidas ou inseticidas), fertilizantes e até mesmo em sementes para melhorar sua eficácia, segurança, ou facilitar a aplicação. De acordo com Stevens (1993) os adjuvantes são frequentemente incorporados aos pesticidas antes da aplicação ou pulverização, modificando o seu desempenho de maneira benéfica e modificando as propriedades físicas da solução. Essas substâncias desempenham papéis diversos que vão desde melhorar a adesão dos defensivos nas plantas até reduzir a deriva durante a aplicação. Segundo Combella (1995) estudos detalhados sobre a ação desses produtos na melhoria da eficácia biológica, manutenção da eficácia sob condições adversas, redução das perdas e contaminação ambiental são indispensáveis quando se busca maior retorno econômico. Adjuvantes são adicionados ao defensivo agrícola por várias razões, incluindo melhor mistura e manuseio, aumento da eficácia e segurança, melhor distribuição e redução de deriva. Essas características são alcançadas pela alteração da solubilidade, volatilidade, gravidade específica, corrosividade, vida útil, compatibilidade ou características de espalhamento e penetração. Com o grande número de opções de formulação disponíveis (soluções, emulsões, pós molháveis, fluidos, grânulos e materiais encapsulados), os adjuvantes tornam-se ainda mais importantes para garantir um desempenho consistente (CURRAN *et al.* 1999).

A deriva segundo Miller (1993) pode ser definida como parte da pulverização agrícola desviada para fora da área-alvo pela ação do vento. Ou seja, a aplicação de um agrotóxico somente com água pode ser perdida pela forma de aplicação ou também pela ação dos ventos, a utilização de um adjuvante agrícola na mistura de defensivo agrícola mais a água faz com que a aplicação na planta seja mais direta, a utilização de um composto aderente, por exemplo, faz com que as gotas de água se fixem mais facilmente à planta ao invés de terem seu curso desviado por ações da natureza. Os adjuvantes são preparados e aplicados juntamente ao agrotóxico, como exemplificado na Figura 2.

Figura 2 - Aplicação da mistura de defensivo agrícola e adjuvante.



Fonte: Disponível em <<https://www.agriq.com.br/preparo-da-calda-de-agrotoxico/>> Acesso 11 de Mai. de 2024.

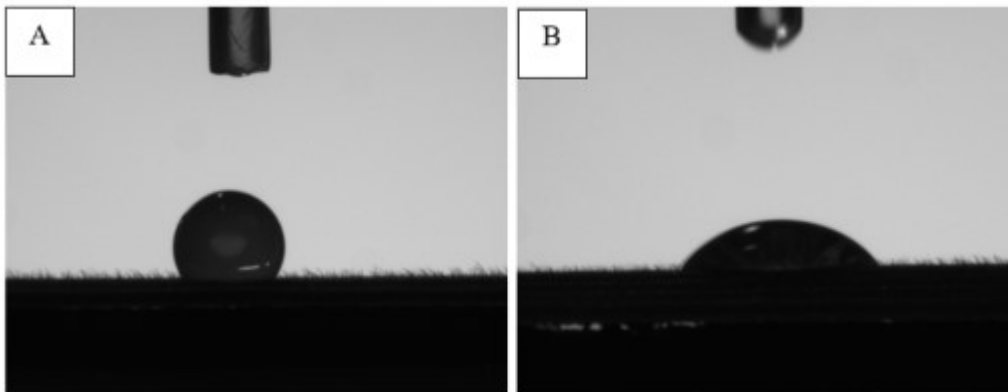
Segundo Holloway (1994) quando as gotas de pulverização são espalhadas nas folhas, essas podem ser retidas, refletidas ou fragmentarem-se em gotas menores, dependendo principalmente de seu tamanho, velocidade, propriedades físico-químicas intrínsecas à calda e da característica da superfície foliar. As propriedades, intrínsecas às gotas, estão intimamente relacionadas aos componentes da formulação, com destaque aos tensoativos utilizados, e a quantidade de adjuvantes na composição da calda de aplicação.

O objetivo de um adjuvante é, portanto, atingir o máximo de plantas possíveis durante uma aplicação, visando o efeito sinérgico com os defensivos agrícolas, como o achatamento da gota, tendo como finalidade entrar em contato com a maior região possível da planta para que se tenha maior absorção e a reação bioquímica planta/agrotóxico ocorra.

Azevedo (2001) afirma que: “Dentre os efeitos dos adjuvantes, destaca-se a redução da tensão superficial das gotas pulverizadas, causando o seu achatamento, o que aumenta a sua superfície de contato com o alvo biológico e melhora a cobertura deste. A tensão superficial refere-se às forças que existem na interface de líquidos não miscíveis, impedindo que eles se misturem” (AZEVEDO, 2001, p 230).

De acordo com o princípio da menor energia, a natureza tende sempre a um estado de mínima energia. É por esta razão, por exemplo, que uma gota de água tende à forma esférica, pois esta é a forma geométrica de mesmo volume com a menor área superficial. O papel do adjuvante, portanto, se resume em melhorar a eficácia do defensivo agrícola utilizado, para que ocorra isso, um dos motivos dessa melhoria de eficácia é a necessidade de que o herbicida ou pesticida tenha mais contato com a folha da planta na qual foi aplicado, assim, o adjuvante age, diminuindo a tensão superficial das gotas pulverizadas aumentando o seu ângulo de contato com a planta, exemplificado pela Figura 3.

Figura 3 - Ângulo de contato entre as gotas e as folhas.



Fonte: Genica Agro. (2021). Tipos de Adjuvantes. Genica Agro. <https://agro.genica.com.br/2021/05/13/tipos-de-adjuvantes/> Acesso 11 de Mai. de 2024.

3.2.2 ADJUVANTES SURFACTANTES

3.2.1 ADERENTES E SEUS COMPONENTES

Adjuvantes aderentes são uma categoria específica de adjuvantes agrícolas projetados para melhorar a aderência e retenção de defensivos agrícolas nas superfícies das plantas. Esses produtos garantem que o defensivo aplicado permaneça aderido à planta, distribuído uniformemente com uma cobertura eficaz. Essa aderência fornecida pelo produto, tem como finalidade minimizar o escorrimento do pesticida, herbicida ou fungicida utilizado, o que implica em um menor desperdício do mesmo. Adjuvantes aderentes são bastante aplicados em regiões onde há um alto volume de chuvas, que implica em perda do agrotóxico aplicado. Também são aplicados em plantas que apresentam alto nível de cerosidade nas folhas, como por exemplo, couve, cebolinha e repolho.

Segundo Penner (2000) os adjuvantes que desempenham o papel de adesivantes ampliam a dispersão e disponibilidade dos ingredientes ativos, modificando a composição da cera presente nas cutículas das plantas ou outros elementos na região específica. Esse processo resulta em uma maior capacidade de aderência, especialmente benéfica para fungicidas de contato, ao mesmo tempo em que facilita uma maior molhabilidade.

Esses adjuvantes de acordo com Mendonça *et al.* (2007) atuam alterando as propriedades físicas da solução de pulverização, assegurando uma maior eficácia no umedecimento das folhas, o que, por sua vez, aprimora a aderência e a absorção pelos tecidos vegetais. A presença de óleos vegetais e minerais em uma solução aquosa, em conjunto com um emulsificante, aprimora a função adesiva do produto. Tanto os óleos minerais quanto os vegetais possuem uma ampla gama de aplicações, podendo ser utilizados de forma isolada tanto para o controle de insetos e fungos quanto como adjuvantes adicionados às misturas de pulverização. Alguns óleos vegetais já estão sendo aplicados juntamente a óleos essenciais com propriedades inseticidas, o que acarreta em uma diminuição na quantidade de defensivo agrícola a ser utilizada.

A eficácia agrícola geral pode ser aprimorada com o uso de adjuvantes aderentes, pois contribuem para maximizar o potencial dos defensivos e, ao mesmo tempo, podem permitir a redução das doses utilizadas (Miller; Butler-Ellis, 2000). O desenvolvimento de adjuvantes aderentes continua sendo uma área de pesquisa ativa, com o objetivo de aprimorar ainda mais a aderência dos defensivos e otimizar a eficiência agrícola. Existem adjuvantes que contém

polímeros e óleos vegetais e minerais, que ajudam a criar uma ligação mais forte entre os defensivos e as superfícies das plantas, melhorando a aderência do agrotóxico e sua retenção.

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), em média, 30% do produto aplicado com o objetivo de atingir as folhas acabam indo para o solo durante a aplicação. Esse dado ressalta ainda mais a importância da utilização do adjuvante aderente. Afinal, se o defensivo ou o fertilizante foliar não entrarem em contato com o alvo, a aplicação só vai representar perdas para o produtor. (EMBRAPA, 2003).

Agentes adesivantes, segundo a (American Society for Testing Materials, 1999) são materiais que auxiliam o depósito da pulverização a aderir ou fixar-se ao alvo e pode ser mensurado em termos de resistência ao tempo, vento, água, ação mecânica ou atividade química.

Segundo Bergeron *et al.* (2000) Os agentes de deposição, também conhecidos como adesivantes, desempenham um papel crucial na redução das perdas da formulação nas plantas-alvo, causadas pela evaporação das gotículas na superfície-alvo ou pela formação de gotas que se desprendem. O processo de retenção da pulverização em superfícies foliares de difícil umedecimento é influenciado pelo nível de tensão superficial e pela dissipação de energia durante a aplicação do spray. Agentes de deposição, como a goma guar, têm a capacidade de diminuir a tensão superficial ao mesmo tempo em que aumentam a viscoelasticidade das gotículas.

Alguns exemplos de agentes adesivantes utilizados nas formulações de adjuvantes são: óleos vegetais, óleos minerais, polímeros ou biopolímeros solúveis em água, látex acrílico ou condensados de alquilfenol (resinas). Os óleos vegetais e minerais são os mais utilizados nas formulações comerciais, óleos vegetais apresentam baixo custo e uma performance adesivante moderada, quando utilizados com um surfactante compatível. Dentre os óleos, os minerais apresentam a melhor performance dessa classe de agentes, possuem uma cadeia lipofílica maior que a dos óleos vegetais, porém, apresentam maior custo (HAZEN, 2000).

3.2.2 EMULSIFICANTES

Segundo Vargas e Roman (2006) adjuvantes emulsificantes são agentes que influenciam a interface entre dois líquidos, facilitando a suspensão de um líquido com características polares em outro líquido de características apolares. Essas substâncias diminuem a tensão interfacial entre dois líquidos que normalmente não se misturam, permitindo a criação de uma emulsão, como, por exemplo, a mistura de óleo em água por meio da combinação de grupos hidrofílicos e lipofílicos. Além disso, os emulsificantes podem apresentar propriedades adicionais, como espalhamento, aderência e umedecimento.

Em muitos casos, os adjuvantes denominados emulsificantes possuem óleos em sua composição, sejam eles vegetais ou minerais, é necessário então, a adição de um agente emulsificante, uma vez que óleos possuem uma estrutura apolar e por natureza não são miscíveis com a água, com essa adição, é possível obter a mistura de óleos e outras substâncias incorporadas à calda de aplicação do agrotóxico. Esse agente emulsificante é, na maioria das vezes, um tensoativo, de origem catiônica, aniônica ou não-iônica, isso irá depender da compatibilidade com o defensivo utilizado, como também, da planta na qual será aplicado.

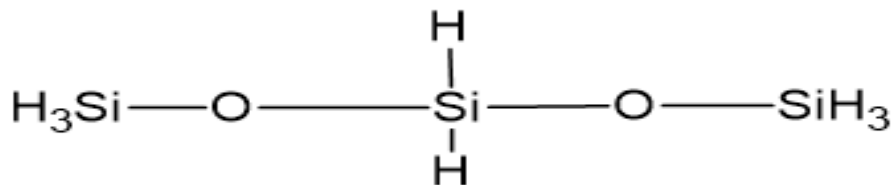
3.2.3 ESPALHANTES

Adjuvantes espalhantes tem como função, segundo (Vargas; Roman, 2006) diminuir a tensão superficial das góticulas reduzindo o ângulo de contato destas com a superfície da folha. Estes produtos proporcionam o espalhamento completo da gota sobre a superfície tratada aumentando a absorção do herbicida. São exemplares de adjuvantes mais caros no mercado, uma vez que incorporam óleos metilados, reagentes de custo elevado, e compostos organossiliconados também de alto custo em sua composição. Essa combinação de elementos confere ao adjuvante propriedades penetrantes e que retardam a evaporação. Além disso, a inclusão do organossilicone confere ao produto essas características sem a necessidade de adicionar um tensoativo. A presença de um adjuvante com ação penetrante pode ampliar a absorção de um herbicida. Em determinadas situações, a incorporação de um adjuvante possibilita a redução da dose do herbicida em mais de 50%.

Espalhantes muitas vezes são desenvolvidos para aplicação em ambientes com condições extremas, como altas temperaturas e baixa umidade ambiente. São utilizados no Brasil, principalmente, no cultivo de soja, que abrange diversos estados brasileiros, porém, nem todos os estados possuem as condições climáticas ideais para o cultivo. Em sua composição, os

adjuvantes que possuem maior concentração de organossiliconados se destacam no mercado (Durigan; Correia, 2008.) Um dos compostos que se destaca na composição dos espalhantes é a molécula de trisiloxano, representado pela Figura 4.

Figura 4 – Estrutura molecular do trisiloxano.



Fonte: O Autor.

Na Tabela 2 estão representados os componentes físico-químicos do trisiloxano.

Tabela 2 - Propriedades físico-químicas do trisiloxano

Estado físico	Líquido (20° C)
Cor	Amarelo claro
Odor	Característico
Valor do pH	Aprox. 6-8 (40g/l, 25° C)
Ponto de fusão	< 0 ° C
Ponto de ebulição	> 200° C
Ponto de fulgor	> 140° C
Densidade	Aprox. 1,01 g/cm ³ (25°C)
Solubilidade em água	Solúvel (25°C)
Coefficiente de partição n-octanol/água	Não aplicável

Fonte: Disponível em

https://download.basf.com/p1/000000000030577266_SDS_CPA_BR/pt/Break+Thru_000000000030577266_SDS_CPA_BR_pt_1-0.pdf Acesso 11 de Mai. de 2024.

3.2.4 MOLHANTES E SEUS COMPONENTES

Segundo Kirkwood (1999) adjuvantes molhantes ou umectantes são componentes que atrasam a evaporação da água, prolongando a permanência da gotícula na área tratada, o que

intensifica a absorção do defensivo agrícola aplicado, essa permanência se dá pela formação de uma fina camada que o agente molhante utilizado proporciona. Essas substâncias desempenham um papel significativo, especialmente em situações de baixa umidade atmosférica e temperaturas elevadas. A rápida evaporação da gotícula pode resultar na formação de cristais de herbicida na superfície foliar, constituindo um obstáculo para a absorção por parte da planta.

De acordo com Green e Foy (2004) a quantidade de água disponível com o defensivo utilizado diminui com o tempo, se a água secar de forma abrupta há a formação de resíduos cristalinos de herbicidas, quando há essa formação de depósitos a planta não há mais absorção foliar do composto desejado, a menos que a substância seja ressolubilizada. Os adjuvantes umectantes, logo, agem mantendo o depósito de pulverização úmido, impedindo a formação de cristais promovendo tempo o suficiente para que a planta absorva todas as moléculas do defensivo aplicado.

Esse molhamento ou umectação da película foliar da planta se dá pelo fato de que o ângulo de contato θ da gota de pulverização com a folha é reduzido, assim, a gota é espalhada ocupando a maior área possível e, assim, há um aumento no molhamento da planta segundo Hazen (2000).

Na formulação de adjuvantes molhantes é comum a presença de compostos como glicerol, propilenoglicol, dietilenoglicol, polietilenoglicol, uréia, sulfato de amônio ou também tensoativos. (Green; Foy, 2004).

Também conhecidos como agentes molhantes, os agentes umectantes são alguns álcoois específicos ou tensoativos aplicados à formulação do adjuvante que tem como finalidade aumentar a molhabilidade da planta, ou seja, aumentando o tempo em que o defensivo agrícola aplicado permaneça aderido à folha da planta, mesmo em condições de folhas muito repelentes à água.

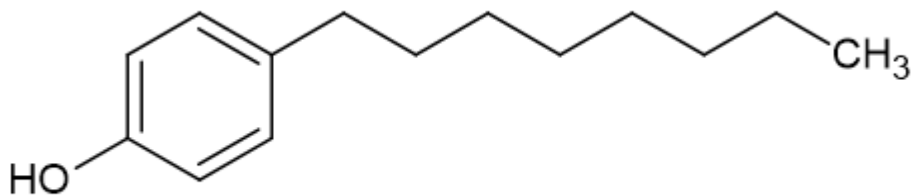
Segundo Bartell (1941) O termo "agente molhante" é comumente utilizado para descrever uma substância que, ao ser adicionada à água, promove um maior grau de molhabilidade desse líquido (ou reduz a tensão interfacial) em relação a uma fase contínua, comparado ao que seria alcançado com água pura. Os princípios fundamentais que regem a ação de diferentes agentes molhantes são tão similares que, para simplificar a explicação, é razoável tomar como exemplo geral uma substância cujas moléculas possuam uma porção polar ou hidrofílica e uma porção não polar ou hidrofóbica (ou organofílica). A parte hidrofílica pode conter grupos como OH, COOH, SO₃H, SO₄H, PO₄H₂, enquanto a parte hidrofóbica pode variar

desde cadeias hidrocarbonetos até cadeias ramificadas de hidrocarbonetos e até mesmo anéis alifáticos e aromáticos modificados.

De acordo com Hazen (2000): “Agentes umectantes típicos são compostos por um tensoativo não iônico diluído em água, álcool ou glicóis. Os umectantes mais comuns são os tensoativos à base de alquilfenóis etoxilados (nonilfenol ou octilfenol). Álcoois etoxilados, e variações como isotridecanol ou trimetilnonanol etoxilado, são frequentemente utilizados. Esses produtos adjuvantes são comumente referidos como tensoativos 90:10 ou 80:20. O primeiro número deveria representar a quantidade de tensoativo ativo na mistura, mas há histórico de outros componentes sendo incluídos com o tensoativo ao contar ingredientes ativos. Esses componentes adicionais podem ter algum efeito favorável no desempenho do adjuvante, mas não devem ser considerados como ativos na composição de um agente umectante. Os componentes adicionais mencionados podem inibir a formação de gel ao adicionar o adjuvante à água fria ou atuar como umectantes” (HAZEN, 2000, p 779).

Em 2010, a demanda americana e canadense por surfactantes etoxilados (Nonilfenol e Octilfenol) foi de 380 a 400 milhões de quilos (Environmental Protection Agency, 2010). Uma substância muito utilizada na formulação de adjuvantes com finalidades molhantes no Brasil é o 4-octilfenol. É representado pela Figura 5. Na tabela 3 são apresentadas as propriedades físico-químicas do 4-octilfenol.

Figura 5 – Estrutura molecular do 4-octilfenol



Fonte: O Autor.

Tabela 3 - Propriedades físico-químicas do 4-octilfenol

Estado físico	Líquido
Cor	Incolor
Odor	Fraco
Valor do pH	5,0 – 8,0
Ponto de fusão	6° C
Ponto de ebulição	> 200° C
Ponto de fulgor	251° C
Densidade	1,07 g/cm ³ (20° C)
Solubilidade em água	Solúvel
Coefficiente de partição n-octanol/água	Não disponível

Fonte: Disponível em <https://www.segure.com.br/uploads/fispqs/merck-s/a-triton-x-100_2013-09-02.pdf>
Acesso 11 de Mai. de 2024.

3.2.5 DISPERSANTES E SEUS COMPONENTES

Adjuvantes dispersantes são utilizados quando há incompatibilidade de defensivos agrícolas. Segundo (Nicolai; Christoffoleti, 2007) uma mistura de glifosato (herbicida) e clorpirifós (inseticida) apresenta grau 2 de incompatibilidade física, o que pode ocasionar a precipitação de produtos no fundo do tanque pulverizador. Esse efeito pode ser minimizado com a utilização de agentes dispersantes no momento de preparo da calda de pulverização e com agitação constante.

Adjuvantes dispersantes de acordo Petter *et al* (2012) são produtos que impedem que a aglomeração de partículas devido ao fato de que diminuem as forças de coesão do meio,

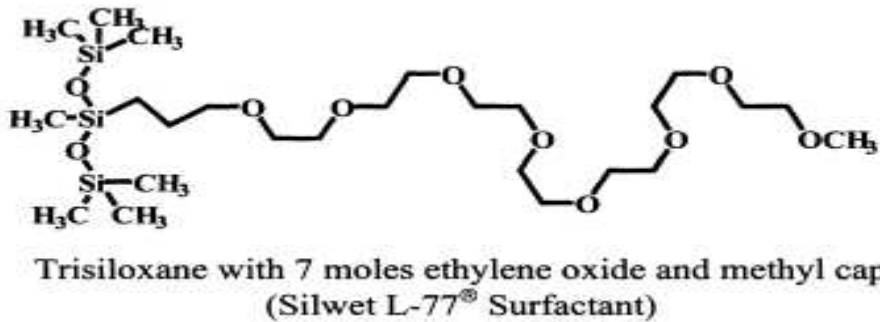
garantindo a estabilidade das suspensões por um período determinado. Desempenham um papel crucial na manutenção da estabilidade de formulações que utilizam agrotóxicos na forma de pó molhável, prevenindo a aglomeração e precipitação das partículas sólidas.

Agentes dispersantes são substâncias essenciais frequentemente empregadas em diversas aplicações industriais, químicas e agrícolas. Sua função principal é promover a dispersão uniforme de partículas insolúveis em líquidos, prevenindo a aglomeração e facilitando a estabilidade de suspensões coloidais (MAURI, 2011). Em sistemas agrícolas, os agentes dispersantes desempenham um papel vital na formulação de defensivos e fertilizantes, garantindo a distribuição homogênea desses produtos na solução de pulverização. Esses agentes possuem propriedades tensoativas que reduzem a tensão superficial, permitindo a cobertura eficaz das superfícies-alvo.

De acordo com Stock *et al.* (1992) os agentes espalhantes são classificados como umectantes que facilitam a expansão do diâmetro de uma gota além de seu tamanho inicial de contato. Diversos tensoativos orgânicos têm a capacidade de aumentar o diâmetro de dispersão em até três vezes. Um exemplo comum desse tipo de agente espalhante são os álcoois etoxilados, como o tridecanol combinado com seis mols de óxido de etileno.

O adjuvante Silwet® é uma classe de surfactantes de silicone especialmente formulada para melhorar a eficácia de defensivos agrícolas. Esses adjuvantes são conhecidos por sua capacidade única de reduzir a tensão superficial da água e facilitar a cobertura uniforme nas superfícies das plantas. O Silwet® é frequentemente utilizado como um super-espalhante, permitindo que as gotículas de pulverização se espalhem para além de seus diâmetros iniciais, cerca de duas a três vezes o tamanho inicial, o que resulta em uma cobertura mais abrangente. Além disso, sua formulação de silicone confere propriedades antiespumantes, o que é crucial em aplicações agrícolas para evitar a formação excessiva de espuma nas soluções de pulverização. A figura 6, exemplifica a estrutura química do adjuvante Silwet L-77® um composto organosiliconado.

Figura 6 – Estrutura química do adjuvante comercial Silwet L-77®



Fonte: HAZEN, J. L. Adjuvants: Terminology, Classification, and Chemistry. Weed Technology.

Segundo (Policello *et al*, 1995) anteriormente, alguns organossiliconados modificados demonstraram fornecer funcionalidade de espalhamento em sistemas à base de óleo. De acordo com Sahai e Rosso (2006) superfícies de sílica hidroxiladas possuem sítios silanol que são hidrofílicos, pois podem formar ligações de hidrogênio com moléculas de água atuando como doadores e aceitadores de prótons. A molécula de trisiloxano, quando etoxilada, possui então características hidrofílicas, graças aos silanóis e possui também uma parte lipofílica devido à grande cadeia carbônica dos vários mols de óxido de etileno que se ligam à molécula.

3.3 ADITIVOS DE PENETRAÇÃO

Segundo a (American Society for Testing Materials, 1999) adjuvantes aditivos são definidos como substâncias que aumentam a capacidade de um composto agroquímico a entrar em um substrato ou penetrar uma superfície.

Adjuvantes aditivos não são tão generalistas quanto os adjuvantes surfactantes, pelo contrário, são bastante específicos para o tipo de planta no qual serão aplicados, como também com qual defensivo serão aplicados. Quando são utilizados, há a intenção de que ocorra o efeito sinérgico da mistura adjuvante/agrotóxico. No entanto, devem ser tomadas precauções para que não ocorra efeito antagônico.

Segundo (Hazen, 2000) Os aditivos mais utilizados são óleos derivados de petróleo e óleos vegetais, principalmente de milho, algodão, girassol, canola e soja, como também, alguns compostos nitrogenados. Aditivos como óleos vegetais e minerais tendem a ser generalistas, e não apresentam muitos efeitos antagônicos com o agrotóxico, já os aditivos nitrogenados devem ser utilizados em formulações específicas de acordo com o defensivo a ser utilizado e a planta na qual será aplicado, pois apresentam sítios reativos que podem inibir o efeito desejado.

3.3.1 ÓLEOS VEGETAIS E MINERAIS

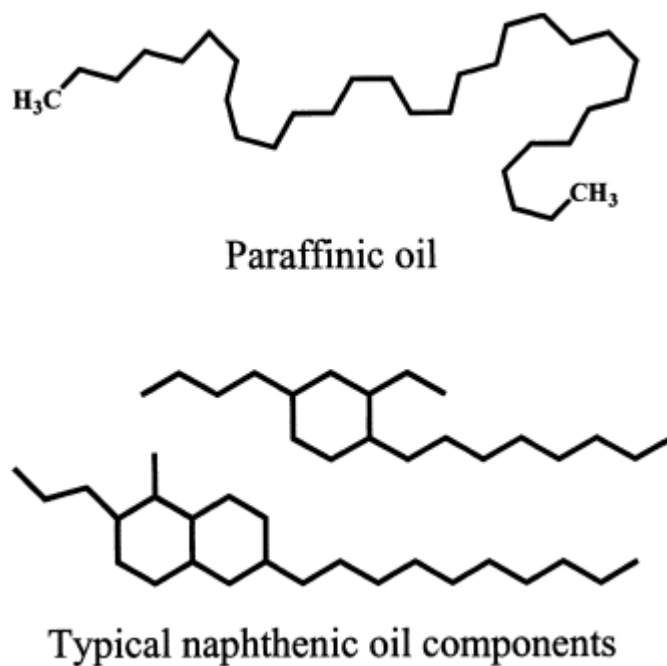
Segundo Vargas e Roman (2006) os óleos minerais ou vegetais atuam dissolvendo as gorduras presentes na cutícula e nas membranas celulares, eliminando as barreiras que impedem a absorção eficiente dos herbicidas e podem causar o extravasamento do conteúdo celular. Logo, observa-se que esses óleos têm o potencial de aumentar a absorção dos herbicidas e podem também agir como herbicidas de contato, dependendo da quantidade utilizada. Na agricultura, os óleos utilizados podem ter origem no petróleo (óleo mineral) ou em fontes vegetais (óleo vegetal). Os óleos minerais têm uma maior proporção de fração parafínica, com hidrocarbonetos de cadeias contendo de 18 a 30 carbonos, enquanto os óleos vegetais possuem cadeias mais curtas, com hidrocarbonetos de 16 a 18 carbonos.

Ao serem adicionados à calda, esses óleos aumentam a absorção do herbicida, reduzem a deriva, retardam a evaporação da gota e desempenham papéis como espalhante e adesivo. No

Brasil, o óleo de soja refinado tem sido amplamente utilizado devido ao seu baixo custo e alta disponibilidade (HAZEN, 2000).

Segundo (CHAMBERS, 1996) os produtos mais antigos usados na categoria de penetração das plantas são os óleos parafínicos. Já (NALEWAJA, 1995) afirma que os óleos produzidos a partir de vegetais também são os produtos muito antigos com o mesmo tipo de atividade. A figura 7 é um exemplo de estrutura molecular de óleos parafínicos e óleos naftalênicos.

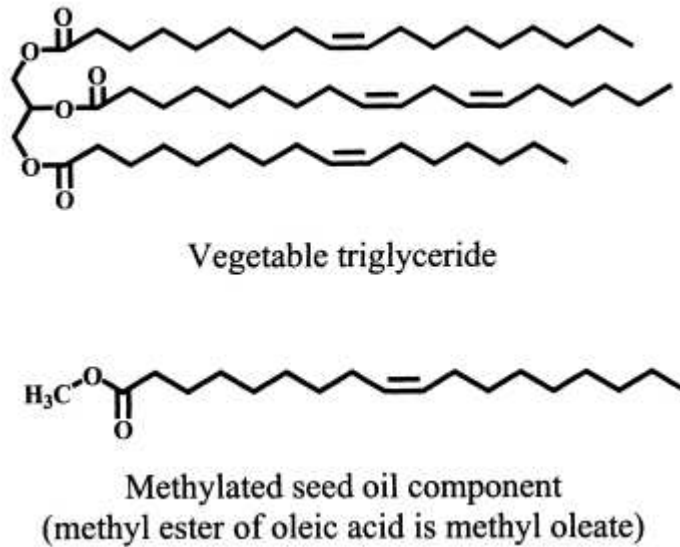
Figura 7: Exemplos de estruturas moleculares de óleos derivados de petróleo.



Fonte: HAZEN, J. L. Adjuvants: Terminology, Classification, and Chemistry.

A figura 8 representa dois óleos vegetais, o primeiro sendo um triglicerídeo e o segundo é o metil oleato.

Figura 8: Estruturas moleculares de triglicerídeos e metil oleato.



Fonte: HAZEN, J. L. Adjuvants: Terminology, Classification, and Chemistry.

Óleos vegetais vem sendo uma alternativa ao uso de óleos derivados de petróleo, uma vez, que derivados de petróleo são recursos limitados. No entanto, pela estrutura molecular, percebe-se que óleos minerais ainda são mais efetivos que os óleos vegetais, devido ao fato de apresentarem uma maior cadeia carbônica, capaz de dissolver as barreiras apolares da estrutura de planta de uma maneira mais eficiente.

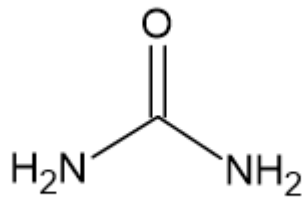
3.3.2 UREIA

A ureia é um composto orgânico crucial na bioquímica e na agricultura, sendo uma das formas mais comuns de nitrogênio utilizadas como fertilizante. Quimicamente, é um composto orgânico com a fórmula $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, possui a estrutura de acordo com a Figura 9, caracterizado pela presença do grupo funcional amida. Na agricultura, a ureia desempenha um papel significativo como fonte de nitrogênio para as plantas, sendo amplamente utilizada devido à sua alta concentração de nitrogênio. Quando aplicada ao solo, a ureia é convertida em amônia por enzimas presentes no solo, tornando-se assim disponível para as plantas. Além disso, essa molécula é comumente usada na indústria de fertilizantes, contribuindo para o crescimento saudável das plantas e para a melhoria da produtividade agrícola. Além do seu papel como fertilizante, a ureia tem aplicações variadas em produtos químicos, cuidados pessoais e na indústria farmacêutica, destacando sua versatilidade e importância em diversos setores.

De acordo com Cantarella (2007) no Brasil, a principal fonte de nitrogênio amplamente empregada é a ureia, destacando-se por sua elevada concentração de N e pelo menor custo por unidade de nitrogênio. Além disso, possui alta solubilidade, menor potencial corrosivo e é compatível com diversos tipos de fertilizantes. No entanto, apresenta desafios, como a possibilidade de perda de nitrogênio devido à volatilização de NH_3 , fitotoxidez de biureto e perdas por lixiviação.

Segundo Durigan (1992) a ureia tem sido empregada em aplicações foliares não apenas como uma fonte de nitrogênio, mas também, predominantemente, como um agente que facilita a penetração de nutrientes catiônicos, aniônicos e herbicidas. A Figura 9 representa a estrutura molecular da ureia.

Figura 9 – Estrutura molecular da Ureia



Fonte: O autor.

A utilização da ureia como adjuvante tem alto potencial ativador, não é necessário grande quantidade na formulação do adjuvante, visto que, geralmente a utilização vem acompanhada de surfactantes (emulsificantes) e óleos minerais ou vegetais (aderentes e também penetrantes). Esse composto químico possui efeito sinérgico com uma grande quantidade de herbicidas, devido ao seu alto poder penetrante, portanto, diminui o custo de produção, visto que aumenta a eficácia do agrotóxico reduzindo os custos de operação. Vale lembrar que essa molécula é um adjuvante que pode ser utilizado diretamente no solo, como também na calda de aplicação. Na tabela 4 são apresentadas as propriedades físico-químicas da ureia.

Tabela 4 - Propriedades físico-químicas da ureia

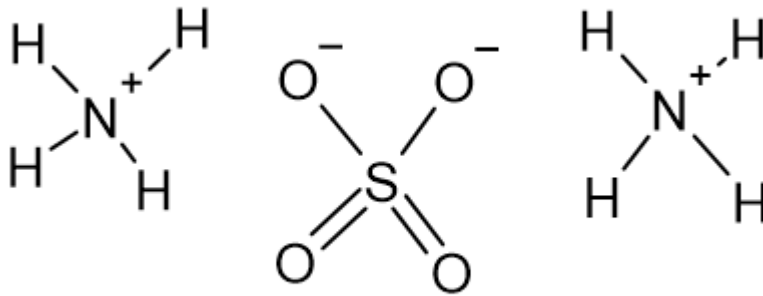
Estado físico	Sólido
Cor	Branco
Odor	Semelhante a amônia
Valor do pH	9,2 a 9,5
Ponto de fusão	132 a 135° C
Ponto de ebulição	Não disponível
Ponto de fulgor	Não disponível
Densidade	Não disponível
Solubilidade em água	Solúvel em água (1080g/L).
Coefficiente de partição n-octanol/água	Não disponível

Fonte: Disponível em <https://mosaicco.com.br/fileLibrary/publicFiles/0-FISPQ---Uria.pdf> Acesso 17 Nov. de 2023.

3.3.3 SULFATO DE AMÔNIO

O sulfato de amônio, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, é um composto químico amplamente utilizado na agricultura como fertilizante nitrogenado e também como adjuvante. Este sal solúvel em água fornece uma fonte prontamente disponível de nitrogênio para as plantas, um nutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento saudáveis. O sulfato de amônio é solúvel em água, o que facilita a absorção eficiente pelas raízes das plantas. Além disso, sua composição equilibrada de nitrogênio e enxofre o torna uma escolha valiosa para culturas que requerem ambos os nutrientes. A estrutura dessa molécula está representada pela Figura 10.

Figura 10 – Estrutura molecular do sulfato de amônio



Fonte: O autor.

A aplicação de sulfato de amônio no solo não apenas aumenta a produção de culturas, mas também contribui para melhorar a qualidade do solo, especialmente em áreas com deficiência de enxofre. A eficácia desse fertilizante e suas implicações em práticas agrícolas sustentáveis são temas frequentes de estudo na literatura científica e agrônômica.

Segundo (DONALD, 1988) a utilização de sulfato de amônio com o defensivo glifosato elevou a eficácia e consistência do agrotóxico no controle de *Hordeum jubatum*. Pratt *et al.* (2003) avaliaram diversos adjuvantes para controle de *Abutilon theophrasti* e concluíram que nenhum foi superior ao sulfato de amônio. Devido ao fato de que o sulfato de amônio, quando atuando como adjuvante, não só faz com que o herbicida penetre na película foliar da planta, como também, resquícios da aplicação que vão para o solo tem sua penetração facilitada, dada a grande afinidade desse sal com as raízes de uma planta. Na tabela 5 são apresentadas as propriedades físico-químicas do sulfato de amônio

Tabela 5 - Propriedades físico-químicas do sulfato de amônio

Estado físico	Sólido
Cor	Branco
Odor	Inodoro
Valor do pH	5
Ponto de fusão	Não disponível
Ponto de ebulição	Não disponível
Ponto de fulgor	Não disponível
Densidade	Não disponível
Solubilidade em água	Solúvel (754 g/L).
Coefficiente de partição n-octanol/água	Não disponível

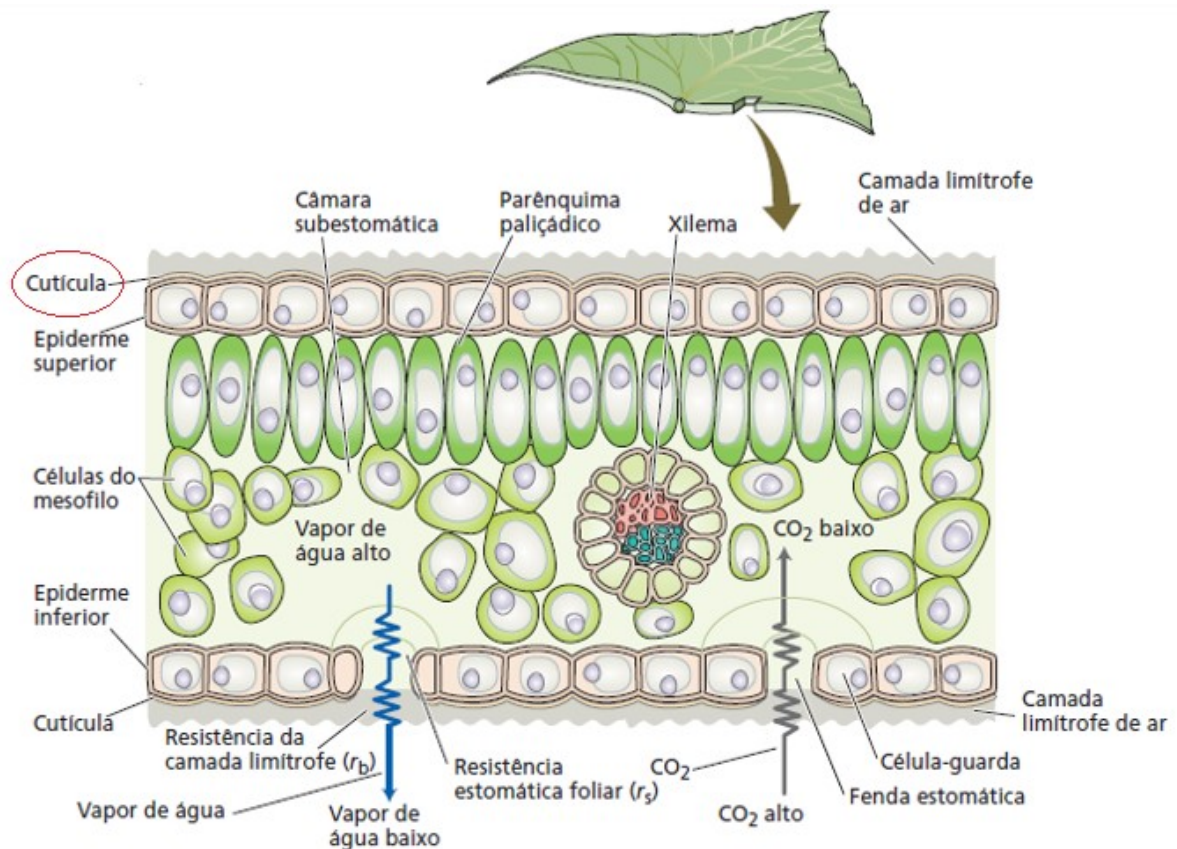
Fonte: Disponível em <https://www.labsynth.com.br/fispq/FISPQ-%20Sulfato%20de%20Amonio.pdf> Acesso 17 Nov. de 2023.

3.4 AGENTE PENETRANTE

Segundo a (American Society for Testing Materials) um agente penetrante é um material ou substância que melhora a capacidade de um composto agroquímico entrar em um substrato ou penetrar uma superfície.

Segundo Taiz. (2017) a cutícula, composta por material lipídico, representa uma das estruturas constituintes das folhas vegetais. Popularmente conhecida como cutícula cerosa, essa camada complexa e hidrofóbica está integrada às paredes celulares mais externas da epiderme nos órgãos aéreos das plantas. Desempenhando um papel crucial, ela atua como uma barreira essencial para evitar a perda de água, a invasão de patógenos e restringir a entrada de água para o interior da folha. A Figura 11 exemplifica a cutícula cerosa de uma folha vegetal.

Figura 11 – Cutícula cerosa de uma folha vegetal



Fonte: TAIZ, L. et al. FISILOGIA E DESENVOLVIMENTO VEGETAL.

A cutícula está presente em todas as folhas de vegetais, no entanto, em algumas espécies a cutícula é mais espessa que em outras, o que confere maior resistência dessas espécies a perda de água por transpiração, mas também a entrada de água e soluções líquidas no interior da folha. Por ter origem lipídica, a cutícula atua como substância hidrofóbica.

Herbicidas, como, por exemplo, o glifosato, precisam penetrar o interior da cutícula para atuar de forma efetiva, nesse cenário, começam a atuar os agentes penetrantes presentes nos adjuvantes agrícolas. Óleos minerais e vegetais são os principais exemplos de agentes penetrantes, dadas as suas estruturas moleculares que se compreendem em grandes cadeias carbônicas (lipofílicas), quando emulsionados graças a um surfactante conseguem romper essa camada lipídica e transportar o defensivo agrícola para dentro da cutícula da folha.

3.5 MEDIDA DE TENSÃO SUPERFICIAL PARA ADJUVANTES E AVALIAÇÃO DE PERFORMANCE

No contexto industrial, especificamente na produção de adjuvantes, são avaliados os comportamentos de cada composto adicionado à formulação do produto. Seja a variação no volume de óleos adicionados ou o seu tipo (vegetal/mineral) ou a utilização de um novo tipo de tensoativo, são necessários testes para se avaliar a magnitude dessa variação ou o comportamento de, por exemplo, um tensoativo de valor X versus um tensoativo de valor Y e sua eficácia em relação ao custo.

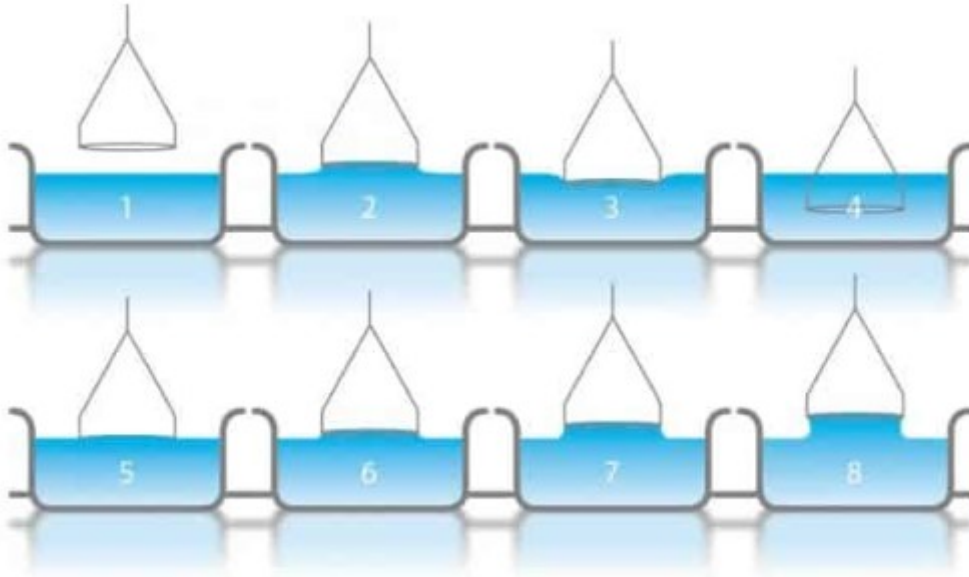
Para se avaliar se a variação dos compostos na formulação foi eficiente são realizados testes que medem a tensão superficial do produto final, geralmente, em um adjuvante procura-se conseguir a maior redução na tensão superficial dinâmica, tensão superficial estática como também, o menor ângulo de contato da gota do produto sobre a superfície vegetal é uma perspectiva para se avaliar a melhor performance possível para o produto.

3.5.1 MÉTODO DO ANEL DE DU NOUY

O método do anel de Du Nouy é uma técnica amplamente utilizada para medir a tensão superficial de líquidos. Nesse método, um anel delgado geralmente feito de platina é mergulhado no líquido, e a força necessária para separar o anel da superfície do líquido é medida. Segundo Du Nouy (1919) simplesmente, é um balanço de torção, mas em vez de medir a tensão por meio de pesos (o que é demorado e requer duas leituras), a torção do fio é utilizada para contrabalançar a tensão do filme líquido e rompê-lo. Essa força é diretamente relacionada à tensão superficial do líquido. O dispositivo utilizado para realizar essa medição é conhecido como tensiômetro de anel de Du Nouy.

A forma com que o anel de platina interage com a fina camada de líquidos é representada pela Figura 12.

Figura 12 – Interação do anel de platina com o líquido.



Fonte: <https://dpunion.com.br/medicao-de-tensao-superficial-pelo-metodo-do-anel-du-nouy/> Acesso 11 de Mai. de 2024.

Na figura 12, as etapas do experimento são identificadas por números, em 1 temos que o anel está acima da superfície e a força é zerada, em 2 o anel atinge a superfície e há uma leve força positiva devido à força adesiva entre o anel e a superfície, em 3 o anel deve ser empurrado através da superfície (devido à tensão superficial) que causa uma pequena força negativa, em 4 o anel quebra a superfície e uma pequena força positiva é medida devido aos fios de suporte do anel, em 5 quando levantado através da superfície, a força medida começa a aumentar, em 6 a força continua aumentando até chegar em 7 onde a força máxima é atingida, por fim, em 8 há uma pequena diminuição da força até que a lamela se rompa (ou o anel seja empurrado para baixo da superfície) (CARRERA *et al*, 2013).

O método do anel de Du Nouy utiliza a equação 1 para calcular a tensão superficial:

$$\gamma = \frac{F}{4\pi R} \quad (1)$$

Onde γ é a tensão superficial, F é a força necessária para separar o anel da superfície do líquido, e R é o raio do anel.

Essa equação é derivada da relação entre a força necessária para romper a película líquida que se forma ao redor do anel e o perímetro do círculo formado pelo anel. O fator 2 no denominador vem da circunferência do círculo.

É importante observar que o método do anel de Du Nouy é sensível à escolha do líquido utilizado, à limpeza do anel, à temperatura e a outros fatores experimentais, e sua aplicação requer cuidados para garantir resultados precisos.

Reddy e Singh (1992) realizaram um trabalho sobre os efeitos de adjuvantes organossiliconados na eficácia da aplicação de glifosato e resistência à chuva, utilizando um tensiômetro de DuNouy modelo CSC-DuNouy Tensiometer. A tensão superficial da água pura, de uma solução contendo glifosato e de uma solução contendo glifosato e dois adjuvantes comerciais X-77® e Kinetic® foi medida. A menor tensão superficial obtida utilizando o método de anel de DuNouy, foi também a mais eficaz em resistir a chuva artificial que perdurou por 60 minutos, que se deu pela mistura de glifosato + Kinetic®. O glifosato quando aplicado sem acompanhamento de adjuvantes apresentou uma tensão superficial maior, como também, os piores resultados em resistir ao tempo de chuva aplicado.

3.5.2 AVALIAÇÃO DO ÂNGULO DE CONTATO DA GOTA

O ângulo de contato da gota está relacionado à forma como uma gota de líquido interage com uma superfície sólida. Esse ângulo é formado pela interseção da superfície da gota com a superfície sólida subjacente. O valor do ângulo de contato pode indicar a molhabilidade do líquido na superfície sólida. Se o ângulo de contato for pequeno, a gota tende a se espalhar e molhar a superfície, se for grande, a gota pode manter uma forma mais esférica e não se espalhar facilmente. A molhabilidade das folhas das plantas depende dos constituintes de sua epiderme, onde a atração pela água precisa ser maior que a tensão superficial desse líquido para uma boa molhabilidade (KISSMAN, 1997).

A medida do ângulo de contato de uma gota em uma superfície sólida é geralmente realizada usando um instrumento chamado goniômetro. Existem várias técnicas para realizar essa medição, mas a abordagem comum envolve as seguintes etapas:

Na primeira etapa a superfície sólida de interesse é preparada e limpa para garantir resultados precisos. Isso muitas vezes inclui processos de limpeza, tratamento superficial ou modificação da superfície para garantir a homogeneidade.

Na segunda etapa, uma pequena quantidade de líquido é depositada na superfície, geralmente na forma de uma gota. A gota pode ser gerada usando uma pipeta ou outro dispositivo controlado.

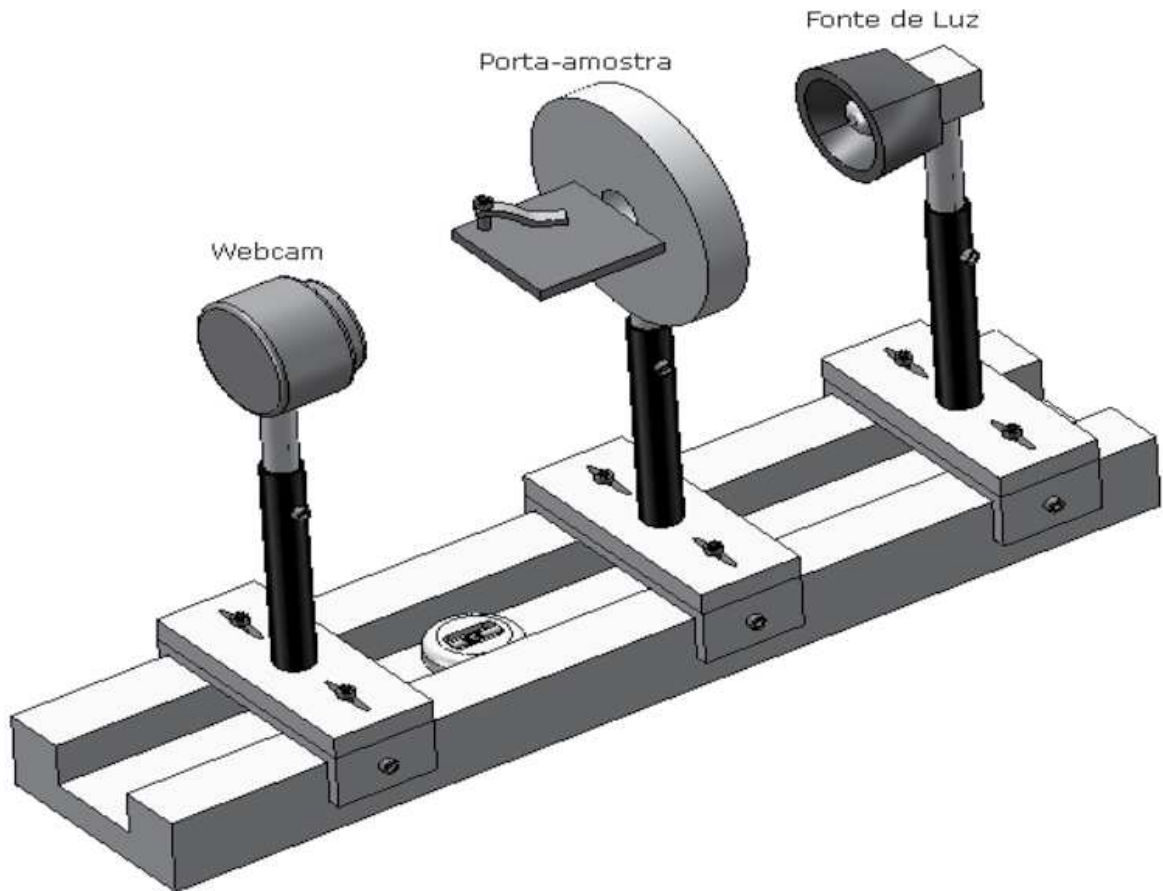
Na terceira etapa, uma câmera é usada para capturar uma imagem da gota na superfície. Isso pode ser feito sob condições controladas de iluminação.

Na quarta etapa uma imagem capturada é processada para determinar o perfil da gota. Isso inclui identificar a linha de contato entre a gota e a superfície sólida.

Por fim, com base no perfil da gota, o ângulo de contato é medido. Este é o ângulo formado pela linha tangente à interface entre a gota e a superfície sólida no ponto de contato (Corrêa; Velini, 2002).

Existem variações na técnica dependendo do instrumento específico utilizado. Goniômetros de contato, métodos ópticos e técnicas de imagem são comumente empregados para obter medições precisas do ângulo de contato em diferentes contextos de pesquisa e indústrias. Os principais componentes de um goniômetro estão ilustrados na Figura 13.

Figura 13 – Componentes de um goniômetro.



Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Esquema-ilustrativo-do-goniometro-usado-para-as-medidas-de-angulos-de-contato_fig1_284170182 Acesso 11 de Mai. de 2024.

Iost e Raetano (2010) realizaram um trabalho com seis adjuvantes comerciais (Antideriva[®], Uno[®], Pronto 3[®], Li-700[®], Supersil[®] e Silwet L-77[®]), foram selecionados dois tipos de superfícies, uma com características hidrofóbicas, lâmina de óxido de alumínio (θ água $> 90^\circ$), e outra com características hidrofílicas (θ água $< 90^\circ$), com uma câmera fotográfica digital CCD, marca LG posicionada de forma semelhante a Figura 13. Foi verificado pelos autores que durante a avaliação dos ângulos de contato das soluções com a superfície, também foi possível observar presença de tricomas nas folhas de amendoim-bravo. Portanto, o ângulo de contato formado depende não apenas da solução que está sendo aplicada, mas também das características da superfície, a exemplo de superfícies foliares que podem apresentar tricomas ou textura cerosa (KISSMANN, 1997). Como também que os adjuvantes organossiliconados Silwet L-77[®] e Supersil[®] apresentaram os menores ângulos de contato formados pelas gotas com a superfície.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os adjuvantes agrícolas emergem como componentes essenciais no arsenal de ferramentas para maximizar a eficácia dos defensivos agrícolas. Ao facilitar a adesão, dispersão e absorção dos agrotóxicos, esses aditivos desempenham um papel crucial na otimização do impacto dos defensivos nas plantações. A crescente complexidade das práticas agrícolas contemporâneas exige uma compreensão profunda dos diferentes tipos de adjuvantes, e como eles se integram às normas e recomendações do setor.

A busca por inovações e aprimoramentos contínuos na formulação de adjuvantes são essenciais para atender às demandas crescentes por produtividade agrícola mundial e sustentabilidade ambiental. A avaliação de tensão superficial, como também de hidrofobicidade ou hidrofobicidade faz se necessária para se avaliar a eficácia em laboratório antes de serem testados em campo, o que poupa bastante tempo e reduz custos na formulação de novos produtos para o mercado.

Por fim, a conscientização dos agricultores sobre a importância estratégica dos adjuvantes agrícolas e a adesão às boas práticas agrícolas são fundamentais para garantir a implementação eficaz desses aditivos. À medida que a agricultura avança para um futuro mais sustentável.

REFERÊNCIAS

- American Society for Testing and Materials E 1519. 1999. Annual Book of ASTM Standards, Vol. 11.05. Designation E 1519-95, Standard Terminology Relating to Agricultural Tank Mix Adjuvants. p. 905-906
- ATKINS, P.; JONES, L. Princípios de Química: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente. 6ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- AZEVEDO, Francisco Roberto de; FREIRE, Francisco das Chagas Oliveira. Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas. Fortaleza. EMBRAPA Agroindústria Tropical, Documentos, v. 102, 2006.
- BARTELL, F E. "Wetting Agents." Industrial & Engineering Chemistry, vol. 33, no. 6, 1 June 1941, p. 737–740, <https://doi.org/10.1021/ie50378a012>. Acesso 11 de Outubro de 2023.
- BERGERON, V; BONN, D; MARTIN J.-Y.; L. VOVELLE. 2000. Controlling droplet deposition with polymer additives. Nature 405: 772-775.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. (Eds.). Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, 2007. p. 375- 470.
- CARRERA, M. ROMERO, A. I; VILEGAS, M; GONZO, E. Obtención de la tensión superficial mediante el método de Du Nouy y el método de la gota pendiente. In: VII Congreso Asociación Argentina de Ingenieros Químicos. Argentina. p. 2013. p. 4-7.
- CASTELLAN, G. W. Físico-Química. 2ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 1983.
- Chambers, G. V. 1996. The role of Orchexg 796 in pesticide applications. In H. M. Collins, ed. Pesticide Formulations and Application Systems, 15th Vol., STP 1268. West Conshohocken, PA: ASTM. p. 67-87
- COMBELLACK, H. Adjuvants-are they worthwhile? In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADJUVANTS FOR AGROCHEMICALS, 14., 1995, Melbourne. Proceedings... Rotorua: New Zealand Forest Research Institute, 1995. p.336-344. (FRI Bulletin, 193).
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5157-com-novo-recorde-producao-de-graos-na-safra-2022-23-chega-a-322-8-milhoes-de-toneladas>. Acesso em 04 out. 2023.
- CORRÊA, T. M.; VELINI, E. D. Desenvolvimento de equipamento para medição da tensão superficial estática de soluções. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA PLANTAS DANINHAS, 23., 2002, Gramado. Resumos... Gramado: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2002. p. 686.
- CURRAN, W.S.; LINGENFELTER, D.D. Adjuvants for Enhancing Herbicide Performance; Pennsylvania State University: State College, PA, USA, 2009.
- DALTIN, D. Introdução e primeiros conceitos. Tensoativos: química, propriedades e aplicações. São Paulo: Blucher, 2011. Cap. 1, p. 1-44.

DONALD, W. W. Established foxtail barley, *Hordeum jubatum*, control with glyphosate plus ammonium sulfate. *Weed Technol.*, v. 2, n. 3, p. 364-368, 1988

DU NOUY PL. A new apparatus for measuring surface tension. *The Journal of General Physiology* 1919; 521-524.

DURIGAN, J. C. Efeito de adjuvantes na calda e no estágio de desenvolvimento das plantas, no controle do capim-colônia (*Panicum maximum*) com glyphosate. *Planta Daninha*, v. 10, n. 1/2, p. 39-44, 1992.

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

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/PessegodeMesaRegiaoSerraGaucha/defensi.htm> Acesso em 04 out. 2023.

EPA - U. S. Environmental Protect Agency. Nonylphenol (NP) and Nonylphenol Ethoxylates (NPEs) Action Plan [RIN 2070-ZA09]. 2010.

GREEN, Jerry M, CHESTER L Foy. "Adjuvants." *Springer EBooks*, 1 Jan. 2004, pp. 375–401, https://doi.org/10.1007/978-94-017-0552-3_19. Acesso 20 de Outubro de 2023.

HAZEN, J. L. Adjuvants: Terminology, Classification, and Chemistry. *Weed Technology*, v. 14, n. 4, p. 773–784, 2000.

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

IOST, Cristina A. R; RAETANO, Carlos G.. "Tensão Superficial Dinâmica E Ângulo de Contato de Soluções Aquosas Com Surfatantes Em Superfícies Artificiais E Naturais." *Engenharia Agrícola*, vol. 30, no. 4, Aug. 2010, p. 670–680.

KIRKWOOD, R.C. 1999. Recent developments in our understanding of the plant cuticle as a barrier to.

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

MANDY, T.; HURD, C.; RANDALL, J. M. "Weed control methods handbook: tools & techniques for use in natural areas." (2001).

MAURI, J.. "Dispersantes Químicos Na Análise Granulométrica de Latossolos." *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, vol. 35, no. 4, Aug. 2011, p. 1277–1284.

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

- MILLER, P. C. H.; BUTLER-ELLIS, M. C. Effects of formulation on spray nozzle performance for applications from ground-based boom sprayers. *Crop Protec.*, v. 19, n. 8, p. 609-615, 2000.
- MILLER, P.C.H. Spray drift and its measurement. In: MATTHEWS, G.A.; HISLOP, E.C. *Application technology for crop protection*. Wallingford: CAB International, 1993. p.101-122.
- NALEWAJA, J. D. 1995. Behaviour, applicability and efficacy of non-surfactant adjuvants. In R. E. Gaskin, ed. *Proc. Fourth Int. Symp. on Adjuvants for Agrochemicals*. NZ FRI Bull. No. 193, New Zealand Forest Research Institute, Rotorua. p. 186-192.
- NICOLAI, M.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Interações entre glyphosate e adubos foliares sobre parâmetros agrônômicos do herbicida. *B. Inf. SBCPD*, v. 15, n. 3, p. 39-43, 2007
- OLIVEIRA L.; FELIPE, CÁSSIA, S. “Surfactantes Sintéticos e Biossurfactantes: Vantagens E Desvantagens.” *Química Nova Na Escola*, vol. 39, no. 3, 2017, qnesc.sbq.org.br/online/qnesc39_3/03-QS-34-16.pdf, <https://doi.org/10.21577/0104-8899.20160079>.
- PENNER, D. Activator adjuvants. *Weed technology*, Champaign, v. 14, p. 785-791, 2000.
- POLICELLO, G. A., P.J.G. STEVENS, R. E. GASKIN, B. H. ROHITA; G. F. MCLAREN. 1995. Alkylsilicones for agricultural oils and oil-based formulations. In R. E. Gaskin, ed. *Proc. Fourth Int. Symp. on Adjuvants for Agrochemicals*. NZ FRI Bull. No. 193, New Zealand Forest Research Institute, Rotorua. p. 303-307.
- PRATT, D.; KELLS, J. J.; PENNER, D. Substitutes for ammonium sulfate as additives with glyphosate and glufosinate. *Weed Technol.*, v. 17, n. 3, p. 576-581, 2003.
- REDDY, K. N.; SINGH, M. “Organosilicone Adjuvant Effects on Glyphosate Efficacy and Rainfastness.” *Weed Technology*, vol. 6, no. 2, 1992, p. 361–365.
- SAHAI, N.; K. M. ROSSO. “Chapter 13 - Computational Molecular Basis for Improved Silica Surface Complexation Models.” *ScienceDirect*, Elsevier, 1 Jan. 2006.
- SCHULZ K. Substrate wetting additives. In: HEILEN, W. *Additives for waterborne coatings*. European Coatings Literature. Germany: Vincentz Network, p.79- 99 (Chap 5), 2009.
- STEVENS, P. J. G. Surfactantes de Organossilicone como Adjuvantes para Agroquímicos. *Pesticide Science*, v. 38, n. 2-3, p. 103–122, 1993.
- STOCK, D., P. J. HOLLOWAY, P. WHITEHOUSE; B. T. GRAYSON. 1992. Activation of the foliar uptake of two water soluble compounds by alcohol polyoxyethylene surfactants. In C. L. Foy, ed. *Adjuvants for Agrichemicals*. Boca Raton, FL: CRC Press. pp. 159-167
- TAIZ, L. *FISIOLOGIA E DESENVOLVIMENTO VEGETAL*. Ed. 6, 2017. Porto Alegre. the foliar uptake of pesticides. *Pesticide Science* 55: p. 69-77.
- VARGAS, L.; ROMAN E. S. p. 56 *Conceitos E Aplicações Dos Adjuvantes*. 2006.