UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
UNESP | BOTUCATU

ULISSES DELVAZ GANDOLFO

ESPECTRO DE GOTAS E DERIVA NA PULVERIZAÇÃO DE DIFERENTES FORMULAÇÕES DE HERBICIDAS

BOTUCATU – SP

2018

ULISSES DELVAZ GANDOLFO

ESPECTRO DE GOTAS E DERIVA NA PULVERIZAÇÃO DE DIFERENTES FORMULAÇÕES DE HERBICIDAS

Orientador: Prof. Dr. Ulisses R. Antuniassi

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

Orientador: Ulisses Rocha Antuniassi

BOTUCATU – SP

2018

FICHA CATALOGRAFICA

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "ESPECTRO DE GOTAS E DERIVA NA PULVERIZAÇÃO DE DIFERENTES FORMULAÇÕES DE HERBICIDAS."

AUTOR: ULISSES DELVAZ GANDOLFO
ORIENTADOR: ULISSES ROCHA ANTUNIASSI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. ULISSES ROCHA ANTUNIASSI
Depto de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrônomica - UNESP

Prof. Dr. OTAVIO JORGE GRIGOLI ABI SAAB
Departamento de Agronomia / UEL / Londrina/PR

Prof. Dr. EDIVALDO DOMINGUES VELINI
Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal / FCA / UNESP de Botucatu/SP

Prof. Dr. RONE BATISTA DE OLIVEIRA
Centro de Ciências Agrárias / Universidade Estadual do Norte do Paraná - Campus Luiz Meneguel

Prof. Dr. PAULO ROBERTO ARBEX SILVA
Dep de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP

Botucatu, 22 de maio de 2018.

Dedico

Incontestavelmente

As pessoas mais importantes e eternas de minha vida;

Ao meu pai Marco, pelas orientações de vida que me trouxeram até aqui;

À minha mãe Mara, pela força que me passa em ser guerreira e lutar sempre pelos belos ideais que têm;

A minha bela Irmã Isis, por sempre seguir de mãos atadas a mim pelo longo caminho da vida

E a minha parceira de vida e esposa Bruna, por todo amor, compreensão, parceria e apoio, sempre

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida que me proporcionou, e por sempre me fornecer forças pra batalhar sem desistir.

Agradeço aos meus pais e meus heróis Marco Antônio Gandolfo e Mara Delvaz Garcia Gandolfo por toda sabedoria transmitida, além da vida que forneceram e todos os conselhos que iluminaram meu caminho, sempre com fé, humildade, dignidade e disciplina. Agradeço também à pessoa mais querida e mais amiga nesta passagem chamada vida, minha irmã Isis Gandolfo.

Agradeço a minha esposa Bruna Caroline dos Santos Gandolfo, pelos momentos que me forneceu o apoio que precisava para seguir em frente e vencer o obstáculo adiante.

Agradeço ao meu orientador de pós graduação, professor e amigo Dr. Ulisses Rocha Antuniassi pelos ensinamentos, orientações, motivações e paciência, exigindo sempre o melhor de seus orientados e fazendo deles grandes profissionais.

Agradeço ao meu orientador de graduação Dr. Marco Antônio Gandolfo pelo entendimento e colaboração, deixando o papel de pai de lado para ser um mestre, ensinando caráter e respeito.

Agradeço aos professores Dr. Paulo Roberto Arbex Silva, Dr. Otávio Jorge Grigoli Abi-Saab e Dr. Caio Carbonari, Dr. Kléber Pereira Lanças e Dr. Rone Batista pela grande contribuição nos processos que me trouxeram até aqui, além da amizade que me orgulho em ter com eles.

Agradeço aos grandes parceiros e amigos que fiz nessa jornada profissional e que para sempre permanecerão como grandes exemplos, Rodolfo Chechetto, Caio Alexandre, Fernando Kassis, Marcella Guerreiro, Henrique Augusto Soares, Alisson Augusto Motta, Raquel Berna, Mateus Queiroz e Thalyson Medeiros pela ajuda e companheirismo.

Agradeço a todos os demais amigos que a vida me abençoou e me forneceu, que me apoiaram e sempre estarei de braços abertos para ajuda-los, Luiz Eduardo, Magnun, Lia, Jéssica, Saulo, Vinícius, Lucas, Pedro, Narciso, Ricardo, Nelsinho, Sato, Filipe, e todos os demais.

Aos professores, funcionários e colegas de classe da Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu e da Faculdade de Agronomia de Bandeirantes, que me ajudaram em mais essa formação profissional.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

RESUMO

Estudos comparativos com diferentes formulações de agroquímicos se fazem necessário para o correto estabelecimento das misturas em tanque, prática comum em qualquer pulverização atualmente. O estudo do espectro de gotas da pulverização fornece informações essenciais e auxilia de forma significativa com resultados específicos. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo estudar o espectro de gotas e a deriva na pulverização de diferentes formulações de herbicidas. O estudo foi realizado na Fazenda Experimental Lageado da Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP, em Botucatu – SP, no Laboratório de Máquinas para Pulverização do Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agrícolas (NEMPA). A definição dos tratamentos se constituiu de caldas de pulverização contendo 12 herbicidas de 3 tipos diferentes de formulação (concentrado emulsionável, solução concentrada e granulado dispersível). Os testes com pulverização foram realizados simulando uma taxa de aplicação de 50 $l.ha^{-1}$, e foi utilizada a ponta de pulverização de jato plano de faixa ampliada, modelo Teejet XR 8003VS, operando na pressão de 200 kPa (2 bar). Para análise do espectro de gotas de cada tratamento, foi utilizado o analisador de partículas em tempo real VisiSize P-15, e os parâmetros analisados relativos ao espectro foram o diâmetro mediano volumétrico (DMV), a Amplitude Relativa da pulverização (AR), o percentual de gotas menores que 100 µm. Também foi analisado o percentual de deriva através de um túnel de vento de secção para complementação de todas as informações relativas ao espectro de gotas da pulverização estudada. Os herbicidas da formulação EC apresentaram melhores características de pulverização. Os parâmetros estudados de deriva e espectro de gotas não influenciam o processo de engenharia das formulações dos herbicidas do presente estudo.

Palavras-chave: Tecnologia de aplicação, tamanho de gotas, mistura em tanque, túnel de vento.

ABSTRACT

Comparative and exploratory studies with different formulations became necessary to the correct establishment of the tank mix, considerate a usual practice to every farmer nowadays. Thus, the study of droplet spectrum can also provide relevant information and help to develop this technology area. Therefore, the aim of this work was to analyze droplet spectra and drift generated by the application of different herbicide formulations. The research was realized in Fazenda Experimental Lageado of Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP, em Botucatu – SP, in Laboratório de Máquinas para Pulverização do Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agrícolas (NEMPA). The treatments definition has been made with the formation of 12 pesticides of national scenario, of 3 different types of formulation (EC, SC and WG). The tests with application was realized simulating an application rate of $50 l.ha^{-1}$, with flat fan nozzles, model Teejet XR 8003VS, with operation pressure of 300 kPa (3 bar). The analysis of each treatment was used a real-time particle analyser VisiSize P-15, and the parameters measured was Volumetric Median Diameter (VMD), Relative amplitude (RA), the percentage of droplets lower than 100 µm. The drift percentage also was measured, with a wind tunnel, to reach all relative information about the droplet spectrum of the tested application. The CE formulation pesticides showed better agronomical and environmental application conditions. The studied parameters of drift and droplet spectrum didn´t influence the enginery process of herbicides presented in this study.

Keyword: Application technology, droplet size, tank mixes, wind tunnel.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Limites de temperatura e umidade relativa do ar para diferentes tamanhos de gotas (Fonte: Antuniassi et al., 2005) 33

Quadro 2 – Produto comercial, dosagem do produto comercial (g ou mL ha^{-1}), ingrediente ativo (i.a.) e fabricante de cada herbicida utilizado 38

Quadro 3 – Produto comercial, formulação, mecanismo de ação, ação nas invasoras e predominância de controle dos herbicidas testados 39

Quadro 4 – Produto comercial, ingrediente ativo, solubilidade e classificação, KoC e classificação e DMV dos herbicidas pré emergentes estudados, segundo a Universidade de Hertfordshire (2013) 60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Bico de pulverização e analisador de partículas por imagens VisiSize Portable P-15 40
Figura 2 - Foto do túnel de vento utilizado para as análises de deriva. 41
Figura 3 - Esquema da seção de testes do túnel de vento com os coletores posicionados. 42
Figura 4 - Espectrofotômetro utilizado para leitura da absorbância de cada amostra de deriva, para posterior cálculo de corante em ppm por tratamento. 43
Figura 5 - Diâmetro mediano volumétrico dos diferentes tratamentos em aplicação com a ponta de jato plano de faixa estendida (XR). 45
Figura 6 - Percentual de gotas menores que 100µm dos diferentes tratamentos em aplicação com a ponta de jato plano de faixa estendida (XR)..... 47
Figura 7 - Amplitude relativa dos diferentes tratamentos de herbicidas da formulação EC em aplicação com a ponta de jato plano de faixa estendida (XR)..... 48
Figura 8 - Potencial de deriva dos diferentes tratamentos em aplicação com a ponta de jato plano de faixa estendida (XR)..... 49
Figura 9 - Associação conjunta entre as variáveis deriva e DMV por meio da análise de correlação linear de Pearson (p<0,001)..... 51
Figura 10 - Associação conjunta entre as variáveis deriva e amplitude relativa por meio da análise de correlação linear de Pearson (p<0,001). 52
Figura 11 - Associação conjunta entre as variáveis percentual de gotas menores que 100 µm e DMV por meio da análise de correlação linear de Pearson (p<0,001)..... 53
Figura 12 - Associação conjunta entre as variáveis DMV e amplitude relativa por meio da análise de correlação linear de Pearson (p<0,001). 54
Figura 13 - Associação conjunta entre as variáveis percentual de gotas menores que 100 µm e amplitude relativa por meio da análise de correlação linear de Pearson (p<0,001)..... 55
Figura 14 - Coeficiente de variação experimental do presente estudo. 56
Figura 15 - Comparação dos parâmetros estudados em aplicação com a ponta de jato plano de faixa estendida (XR) para os herbicidas de ação em pré emergência (PRÉ) e em pós emergência (PÓS). Para a comparação dos

resultados, os traços horizontais representam os valores médios e as linhas verticais indicam o Intervalo de Confiança ao nível de 95%. 57
Figura 16 - Comparação dos parâmetros estudados em aplicação com a ponta de jato plano de faixa estendida (XR) para os herbicidas de ação sistêmica e de contato. Para a comparação dos resultados, os traços horizontais representam os valores médios e as linhas verticais indicam o Intervalo de Confiança ao nível de 95%. 58
Figura 17 - Comparação dos parâmetros estudados em aplicação com a ponta de jato plano de faixa estendida (XR) para os herbicidas graminicidas (FE) e latifolicidas (FL). Para a comparação dos resultados, os traços horizontais representam os valores médios e as linhas verticais indicam o Intervalo de Confiança ao nível de 95%. 59

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 19

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 21

2.1 PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS 21

2.2 HERBICIDAS 22

2.3 MECANISMOS DE AÇÃO E USO DE HERBICIDAS 23

2.4 FORMULAÇÕES DE AGROQUÍMICOS 24

2.4.1 Concentrado emulsionável (EC) 26

2.4.2 Suspensão Concentrada (SC) 27

2.4.3 Granulado dispersível (WG) 28

2.5 TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO 29

2.6 ESPECTRO DE GOTAS 31

2.7 DERIVA DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS 33

2.8 INFLUÊNCIA DAS FORMULAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS DA PULVERIZAÇÃO 35

3 MATERIAL E MÉTODOS 37

3.1 LOCAL 37

3.2 TRATAMENTOS EM ANÁLISE 37

3.3 ANÁLISE DO ESPECTRO DE GOTAS 39

3.4 ANÁLISE DO POTENCIAL DE DERIVA 41

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA 43

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 45

4.1 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO PELO TESTE SCOTT-KNOTT (P<0,05) 45

4.1.1 Análise do Diâmetro Mediano Volumétrico 45

4.1.2 Análise do percentual de gotas menores que 100 µm 47

4.1.3 Análise da Amplitude Relativa da pulverização 48

4.1.4 Análise do percentual de deriva da pulverização 49

4.2 ANÁLISE DA ASSOCIAÇÃO CONJUNTA DAS VARIÁVEIS PELA CORRELAÇÃO LINEAR DE PEARSON (P<0,001). 50

4.2.1 Correlação entre diâmetro mediano volumétrico e deriva 50

4.2.2 Correlação entre amplitude relativa e deriva 51

4.2.3 Correlação entre diâmetro mediano volumétrico e percentual de gotas menor que 100 µm. 52
4.2.4 Correlação entre diâmetro mediano volumétrico e amplitude relativa. 53
4.2.5 Correlação entre percentual de gotas menores que 100 µm e amplitude relativa. 54
4.3 COEFICIENTE DE VARIAÇÃO EXPERIMENTAL 55
4.4 ESTUDO DAS RELAÇÕES ENTRE OS PARÂMETROS ESTUDADOS E CARACTERÍSTICAS DOS HERBICIDAS 56
4.4.1 Relação entre os herbicidas pré e pós emergentes estudados 56
4.4.2 Relação entre os herbicidas sistêmicos e de contato estudados..... 58
4.4.3 Relação entre os herbicidas graminicidas e latifolicidas estudados 59
4.4.4 Relação de solubilidade e adsorção dos herbicidas pré-emergentes estudados 60
5 CONCLUSÕES.....62
REFERÊNCIAS 63

1 INTRODUÇÃO

A tecnologia que estrutura a área de aplicação de produtos fitossanitários provém de uma base sólida de estudos, pesquisas, relatos e aplicações que, juntos, colaboraram para a evolução das operações de aplicação. Tal evolução tem como objetivo principal melhorar a forma como os produtos são aplicados, aumentando sua taxa de controle, diminuindo o custo e evitando o desequilíbrio ambiental, contribuindo diretamente para melhor produtividade e maior abastecimento do mercado mundial de alimentos.

Diversos tipos de pragas infestam as culturas economicamente desejáveis cultivadas pelo homem, e as empresas de produtos fitossanitários investem muitos recursos anualmente na criação de novas moléculas capazes de melhores controles aos agentes de danos. Tais moléculas, por terem diferentes características físico-químicas, são criadas em diferentes formulações, com o objetivo de melhor explorar sua capacidade de controle.

As formulações mais comuns do mercado nacional de herbicidas são concentrado emulsionável; solução concentrada e; granulado dispersível. Cada uma tem uma característica diferente, fazendo com que seu método de uso, de aplicação e de controle sejam diferentes também.

Os produtos fitossanitários de diferentes formulações requerem estudos e pesquisas exploratórias, pois são ferramentas muito importantes da área agrícola, uma vez que possuem a capacidade de fornecer informações essenciais de uso dos produtos, orientações sobre misturas e comprovação de eficiência. As informações fornecidas em rótulos de embalagens dos produtos fitossanitários muitas vezes são vagas, deixando de lado certos destaques importantes no uso dos produtos, e acabam levando o usuário do agroquímico a certos erros que podem ter como consequência a falta de eficiência de um produto, o desequilíbrio ambiental e uma possível intoxicação do usuário.

No âmbito da pesquisa exploratória em tecnologia de aplicação, os dois principais fatores que fornecem informações importantes sobre uso correto dos produtos fitossanitários são o espectro de gotas e o percentual de deriva, pois quando bem estudados podem auxiliar os usuários de agroquímicos a tomarem medidas mais seguras de pulverização. O estudo do espectro de gotas da pulverização fornece

informações sobre o tamanho e comportamento das partículas a partir do momento que saem da ponta de pulverização, além de apresentar alguns parâmetros como o diâmetro mediano volumétrico, a amplitude relativa da pulverização e o percentual de gotas menores que 100 µm. Estes fatores aliados ao estudo do percentual de deriva colaboram cientificamente para o desenvolvimento da tecnologia e auxiliam no bom uso dos produtos fitossanitários.

Sendo assim, objetivo do presente estudo foi avaliar o espectro de gotas e a deriva na pulverização de diferentes formulações de herbicidas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Produtos fitossanitários

Segundo o Decreto 4.074/2002, que regulamenta a Lei nº 7.802/1989, os produtos fitossanitários são agentes de processos físicos, químicos ou biológicos destinados ao cultivo, armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, para alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação de seres vivos nocivos.

Em sua última publicação sobre agroquímicos, a FAO (2014) prevê que o mercado global de agroquímicos mobiliza em torno de US$ 30 bilhões por ano, com possibilidade de expansão. Somente a América Latina movimenta em torno de 19% do mercado mundial (FREDONIAGROUP, 2014).

Devido a importância dos produtos fitossanitários no Brasil, existe grande apelo legal e alto número de normas aprovadas pela legislação brasileira para classificar a toxicidade os aspectos legais e a larga escala do uso destes produtos no país (MMA, 2015). O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento apresentou registro de 1283 novos produtos fitossanitários de 2005 a 2014, sendo o maior número registrado no ano de 2007 com 202 registros (MAPA, 2014).

O início do uso de produtos fitossanitários no Brasil se estabeleceu no controle de vetores e alguns parasitas pela implantação de programas sociais e de saúde pública (MATUO,1990). No cenário agrícola sua utilidade passou a ser fortalecida a partir da década de 1950, mudando de vez as práticas agrícolas, melhorando o controle das pragas e aumentando a produtividade dos cultivos comerciais.

A utilização de produtos fitossanitários na agricultura se enquadra como uma das operações que mais demandam atenção aos usuários, justamente por ser a ferramenta de controle das pragas que prejudicam as culturas instaladas em campo. Raetano (2011) cita que a cautela e a consciência do usuário são fatores necessários para a boa utilização destes produtos, devido a abusos e negligências na hora de seu uso, além da complexidade das relações destes produtos com o meio ambiente.

Devido ao fato de pulverizações serem necessárias, e na maioria dos casos serem feitas muitas aplicações durante uma safra de cultivo, o uso inadequado destes produtos torna-se a causa principal de contaminações ambientais, fazendo com que a pressão de órgãos de segurança e saúde seja maior na procura de um cultivo mais

seguro e com menor impacto ambiental, e, como citam Luchini; Andréa (2000), a busca de maior conhecimento sobre as interações de agroquímicos com o ambiente se faz mais necessária ainda.

Aplicações responsáveis e seguras devem atender certos parâmetros para poder apresentar eficiência satisfatória, portanto, o uso de produtos fitossanitários continuará sendo parte complementar do manejo integrado, sem afetar de forma negativa a saúde humana e a segurança ambiental (DAMALAS; ELEFTHEROHORINOS, 2011; HILZ; VERMEER, 2013).

Com o avanço da resistência e seletividade das pragas aos produtos fitossanitários utilizados hoje, é essencial que ocorra a melhoria da eficiência das aplicações destes produtos, conforme relata Raetano (2011). O estudo de tecnologias apresenta-se como a forma mais viável de extrair informações importantes sobre a forma de controle dessas pragas, difundindo conhecimento e fazendo com que as pulverizações sejam mais eficientes.

2.2 Herbicidas

O aumento da população mundial tem forçado a agricultura a encontrar meios de aumentar também a produção de alimentos. Tal fato pode ocorrer com a abertura de novas fronteiras agrícolas e também da intensificação do uso do solo. Oliveira Jr. Et al. (2011) citam alguns fatores como sendo determinantes na obtenção de maiores níveis de produção de alimentos, como utilização de fertilizantes, variedades melhoradas, plantios adensados, produtos fitossanitários e o uso de transgênicos na agricultura.

O emprego de herbicidas na agricultura moderna tem eliminado de forma eficiente as interações negativas entre as plantas cultivadas e as invasoras, diminuindo o grau de interferência destas na cultura comercial, podendo aumentar diretamente a produção e produtividade (ANTUNIASSI, 2009). Os herbicidas são agentes biológicos ou substâncias químicas capazes de eliminar ou suprimir o crescimento de espécies vegetais e para serem seletivos, eles devem ter ação de controle somente as plantas daninhas e não toda a cultura (KNOWLES, 1998).

2.3 Mecanismos de ação e uso de herbicidas

A atividade biológica e atuação dos herbicidas na produção de alimentos têm sido explorada desde o nascimento da agricultura. Antigamente as opções eram limitadas a poucos princípios ativos, porém com a modernização da agricultura mundial o mercado de herbicidas cresceu e atualmente a lista de opções disponíveis para um trato específico é vasta. Lein et al. (2004) explicam que, atualmente, além da quantidade de herbicidas, também as formulações com um mesmo princípio ativo para diferentes usos e a descoberta de novos princípios ativos colaboraram para o seu crescimento no mercado mundial.

Um fator determinante na escolha de um herbicida para certo trato é a definição de seu mecanismo de ação e como ele atuará. Entende-se por mecanismo de ação o primeiro passo bioquímico ou biofísico no interior celular da planta invasora que será inibido pela atividade do mesmo (VIDAL, 1997). Os mecanismos de ação podem ser divididos em duas classes, quanto a sua forma de aplicação: diretamente no solo (conhecidos como pré-emergentes) ou diretamente nas folhas (conhecidos como pós-emergentes), sendo este ainda subdivididos em contato (exerce seu efeito somente em contato direto com o local da folha onde foi aplicado) ou sistêmico (sendo absorvido pela planta e translocados por xilema ou floema).

Os herbicidas pré-emergentes têm a característica de poder movimentar-se para as raízes das plantas invasoras por fluxo de massa ou por interceptação radicular, com consequente translocação pelo xilema (GWYNNE; MURRAY, 1985). Uma das principais vantagens deste tipo de agroquímico é que tem longa vida útil, permanecendo no solo até que sejam degradados ou levados para fora da região onde exercem seu efeito herbicida.

Hasset; Banwart (1989), citam como sendo fatores indispensáveis no entendimento da absorção de um herbicida pelo sistema solo/planta a solubilidade em água e o teor de sorção de uma molécula. Cabe ressaltar que a solubilidade em água e o teor de sorção de um princípio ativo são inversamente relacionados, ou seja, quanto maior a solubilidade em água de uma molécula, menor sua capacidade de se mover no sistema solo/planta (OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2011). Por solubilidade, entende-se a quantidade de herbicida que está disponibilizado na solução do solo, sendo o valor expresso em miligramas por litro. Segundo Dias (2013), quanto mais solúvel uma molécula, maior sua capacidade de escoamento superficial (lavagem),

subterrâneo (lixiviação) e volatilização. A mesma autora ainda caracteriza o teor de sorção das moléculas que quanto mais baixo é, maior é a mobilidade e disponibilidade do herbicida ao solo e as plantas.

Para facilitar o entendimento dos herbicidas pós-emergentes, esta categoria de mecanismo de ação é subdividida em duas partes: herbicidas de contato e sistêmicos. Segundo Gwynne; Murray (1985), as principais características dos herbicidas de contato são de possuir ação mais rápida nas plantas daninhas e menor persistência. Os autores ainda complementam a necessidade da tecnologia de aplicação precisa na pulverização, umas vez que herbicidas com este modo de ação necessitam boa cobertura na pulverização, requerendo a aplicação de gotas mais finas para o melhor funcionamento.

No caso dos herbicidas de ação sistêmica, o modo de ação é diferente, pois só vão apresentar funcionamento quando penetrarem a cutícula da folha. Segundo autores como Peterson et al. (2001) e Vidal (1997), a boa cobertura não é tão necessária nessa modalidade de aplicação, até mesmo para plantas daninhas já estabelecidas. No entanto, com a grande quantidade de produtos misturados em pulverizações nas propriedades agrícolas visando aumentar o espectro de controle, é indispensável a elaboração de um bom plano de pulverização com boa tecnologia de aplicação, procurando atender todos os requisitos dos produtos misturados e fornecer controle satisfatório da operação, com maior rentabilidade e evitando qualquer prejuízo ambiental

Outra classe de abordagem dos herbicidas é relacionada a predominância de controle das plantas daninhas, sendo uma parte conhecida como graminicidas (controle predominante de plantas invasoras de folha estreita), uma segunda parte conhecida como latifolicidas (controle predominante de plantas invasoras de folhas largas) e uma terceira parte de controle de ambas. Peterson et al. (2001) relatam que existe uma predominância de herbicidas de contato que atuam em plantas invasoras de folhas largas, uma vez que estas tem seu ponto de crescimento (principal alvo dos herbicidas de contato) em local mais fácil de ser atingido do que as gramíneas.

2.4 Formulações de agroquímicos

Formulação diz respeito ao método pelo qual o ingrediente ativo de um produto é apresentado pela forma mais eficiente, em relação a aplicação (PRISCO; 2009). A

autora ainda destaca que os produtos fitossanitários não são apropriados para aplicação em sua forma pura, devido ao fato de sua forma física não permitir uma distribuição uniforme, relatando também que solventes, emulsificantes e adjuvantes (usados na formulação) facilitam a penetração do produto químico ativo no alvo que deve ser atingido.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 1297/2004) define a terminologia utilizada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para a classificação dos tipos de formulações no Brasil. Separadas em cinco classes, as formulações são definidas através de um grande número de variedades de elementos, e dentre as quais, as formulações conhecidas por serem utilizadas para diluição em água, (onde se enquadram concentrado emulsionável, a suspensão concentrada e o granulado dispersível) são as mais encontradas (26 no total), seguidas por formulações especiais, formulações para aplicação direta, formulações para tratamento de sementes e formulações para diluição em solventes orgânicos.

Segundo Knowles (2008) e Matthews et al. (2014), formulações de agroquímicos tem como objetivo fornecer boa pulverização e máxima proteção ao aplicador e ao meio ambiente, além de proporcionar estabilidade em armazenamento e máxima eficiência ao ingrediente ativo. Deve-se sempre considerar a possibilidade de os agroquímicos terem a necessidade de permanecerem longos períodos de tempo armazenados (pelo menos dois anos) com a máxima preservação de eficiência e características originais (PONTZEN; VERMEER, 2012).

Ações regulatórias de diversos países têm a obrigação de formular moléculas de maneira mais confiável, utilizando menor quantidade de substâncias tóxicas, igualmente pela origem de ingredientes ativos, disponibilidade de agentes molhantes e dispersantes que podem viabilizar o surgimento de novos produtos, o desenvolvimento de novos modos de obtenção, e considerando ainda o valor da produção, características para pulverização e escolha do aplicador (KNOWLES, 2008; MATTHEWS et al. 2014).

Questões de segurança ambiental também contam na escolha da formulação adequada a ser utilizada. De acordo com Matthews et al. (2014), a preferência dos agricultores é pelos concentrados emulsionáveis, porém o mercado já possui inclinação para a criação de formulações alternativas, e a tendência segue para formulações de base aquosa, que possuem menor quantidade de solventes

orgânicos, à base de petróleo. Devido a segurança proporcionada, suspensões concentradas e granulados dispersíveis têm se tornado a principal escolha.

2.4.1 Concentrado emulsionável (EC)

O concentrado emulsionável (sigla EC) é a formulação mais comum de produtos fitossanitários no mundo e é caracterizado por conter um ou mais ingredientes ativos, emulsificados em solventes orgânicos, estabilizadores ou antiespumantes emulsionáveis em água. Minguela; Cunha (2010) e Fishel (2013), esclarecem que este tipo possui ingredientes ativos incorporados a solventes que têm como base o petróleo, e um agente responsável pelo processo de emulsificação, que forma a emulsão dos elementos com a água.

Tendo em vista que este tipo de formulação possui ingrediente ativo líquido oleoso em mistura com solventes, há a necessidade do processo conhecido como emulsificação que possibilita a mistura em tanque entre o ingrediente ativo, o solvente e a água. Knowles (1998), define como emulsificante a substância que permite a estabilização da suspensão de glóbulos de um líquido em outro líquido que esteja misturado.

Uma vez que as formulações EC requerem a adição de um surfatante emulsificante (parte hidrofóbica e parte hidrofílica), possibilita a emulsão entre produto fitossanitário e água, formando a mistura a ser pulverizada com propriedades estáveis (KNOWLES, 2008; MINGUELA; CUNHA, 2010; FISHEL, 2013). Matthews et al. (2014) destaca que, devido a presença de surfactantes e principalmente ao processo necessário de emulsificação, esta formulação tem a tendência a apresentar filmes líquidos menores após a formação do jato de pulverização, fator que contribui para a formação de gotas maiores dessa formulação.

Existem dois tipos principais de emulsificantes utilizados nas formulações EC: surfactantes aniônicos e não-iônicos. Os surfactantes aniônicos são agentes de superfície ativa na qual a porção ativa da molécula contém um segmento lipofílico formando exclusivamente um íon negativo (anion) quando colocado em solução aquosa (OLIVEIRA, 2011). Surfactantes não iônicos, que são os mais utilizados, têm como tipo mais popular o nonil-fenol, que possui doze ou mais mols de óxidos de etileno. Existe sobre esse surfatante a suspeita de alterar funções endócrinas de seres

humanos e animais, por isso estudos procuram alternativas emulsificantes que tenham características similares (KNOWLES, 2008; MATTHEWS et al., 2014).

Como maneira de prevenção da separação da calda em fases distintas, o método de agitação da mistura no tanque também pode prevenir o problema. Matthews et al., (2014) citam que processos como pH, dureza da água, e altas ou baixas temperaturas também afetam a estabilidade da calda.

2.4.2 Suspensão Concentrada (SC)

A suspensão concentrada é uma formulação constituída de uma suspensão estável de um ou mais ingredientes ativos em veículo líquido que pode conter outro ingrediente ativo dissolvido, para aplicação de ambos após diluição feita em água (PRISCO, 2009). Knowles (2008) cita que este tipo de formulação tem maior facilidade de manuseio e aplicação, além de maior segurança ao operador e ao meio ambiente. O mesmo autor cita que custos de produção são inferiores quando comparados a outras formulações, possibilitando o uso de produtos com capacidade de solução em água que aumentem a qualidade da molécula quando em pulverização.

Segundo Tadros (1989), o uso de agentes dispersantes melhora a estabilidade das suspensões, devido ao fato de agirem com o objetivo de máxima preservação do estado de dispersão e evitando a agregação das partículas.

A formulação SC apresenta como maior vantagem a possibilidade de associação de ingredientes ativos numa mesma embalagem, facilitando a formulação e mistura de alguns ingredientes ativos insolúveis em solventes orgânicos (TADROS, 1989; KNOWLES, 2008; ANJALI et al., 2010).

Segundo Pontzen; Vermeer (2012), se faz necessária a adição de adjuvantes na mistura, visando o aumento da permanência do agroquímico na superfície pulverizada. Alguns adjuvantes possuem maior destaque pela eficiência, como o polietileno glicol, composto por moléculas de cadeia longa. Ainda segundo os autores, adjuvantes de base oleosa tem se tornado foco de estudos pela possibilidade de serem misturados na obtenção da molécula ou ainda serem adicionados à calda pulverizada e aplicados de forma misturada na cultura. Ainda segundo os autores, é mais comum a mistura de adjuvantes as formulações suspensão concentrada quando seu ingrediente ativo possui ação sistêmica.

2.4.3 Granulado dispersível (WG)

O granulado dispersível é a formulação mais complexa e cara entre as citadas. De tal forma, Bernardes (2006) chama a atenção para o fato de ser adicionada uma carga elétrica ao ingrediente ativo, além de um agente dispersante e um agente aglomerante. Segundo o mesmo autor, ambos agentes possuem objetivos específicos dentro de uma mesma formulação: o agente dispersante age para manter o ingrediente ativo disperso na calda durante sua aplicação; e o agente aglomerante é responsável pela formação dos grânulos.

Alguns autores citam diversos métodos de granulação de ingredientes ativos para a formação da formulação WG. De acordo com Bernardes (2006) e Pontzen; Vermeer (2012) a prensagem, compactação, aplicação de soluções nas moléculas sólidas e métodos com uso da extrusão são mais comuns.

Segundo Matthews et al., (2014), para as formulações WG, os adjuvantes devem propiciar a total dispersão dos sólidos e manter a estabilidade na mistura, evitando a formação de aglomerados. O autor complementa que é importante menores tamanhos das partículas após diluição em água, devido a melhoria na retenção pelas plantas e maior a resistência à remoção pela chuva. Por esse motivo, o processo de obtenção de partículas finas está presente nas formulações WG.

As formulações WG possuem maior número de vendas em embalagens biodegradáveis, visando a redução da exposição dos aplicadores no processo de mistura dos agroquímicos em tanque. Essas embalagens fornecem melhoria na precisão de dosagem durante seu preparo, além de aumentar a segurança do usuário (KNOWLES, 1998; KNOWLES, 2008; MATTHEWS et al., 2014).

A principais vantagens são que a formulação suporta normalmente maiores teores de ingrediente ativo, e por ação do agente aglomerante, quando adicionado à solução de pulverização, dificilmente fará nuvens de pó, evitando perdas do ativo ou contaminação ambiental. Por outro lado, são formulações mais complexas, exigindo um alto custo de aquisição. Desta forma, a escolha mais comum para formulação como WG são moléculas com alta concentração de ingrediente ativo e alto volume de vendas (KNOWLES, 2008).

2.5 Tecnologia de aplicação

O termo tecnologia de aplicação compreende o emprego de todos os conhecimentos técnicos e científicos que auxiliem na correta colocação do produto biologicamente ativo em um alvo, na quantidade necessária, de forma econômica e gerando a mínima contaminação de áreas adjacentes (MATUO, 1990).

Segundo Magdalena et al., (2010), fontes como o *Livro Egípcio dos Mortos* e o *Antigo Testamento* citam que compostos a base de enxofre eram usados pelos sumérios no controle de ácaros e insetos. O mesmo autor cita também o uso pelos chineses de inseticidas botânicos a base de arsênicos e mercúrio com data de 1200 anos a.C. Vale citar que pelas condições rudimentares da época e da falta de conhecimentos por parte da população, tais compostos eram aplicados sem nenhum auxílio ou tecnologia e sem recomendações exatas, sendo feitos a mão e na maioria das vezes sem auxílio de tração animal.

O primeiro relato de um instrumento construído para aplicação de produtos fitossanitários foi uma ponta, conhecida como ponta de Riley, e data-se do ano de 1888 (MAGDALENA et al., 2010). No Brasil, tais relatos direcionam para uma máquina de matar formigas, onde sua composição química era arsênicos ou enxofre aquecidos por brasas e depois insuflados para dentro de formigueiros (KISSMANN, 2001).

O avanço tecnológico das máquinas possui marcos históricos com picos de estudos e desenvolvimento buscando maior eficiência, como a revolução industrial em meados do século 18, em que os agricultores começaram a se interessar pelo aumento da produção e da qualidade do alimento produzido, o êxodo rural, que diminuiu a mão-de-obra nas áreas rurais (CHAIM, 1999); a Segunda Guerra Mundial, em meados dos anos 40, quando o pesticida DDT foi usado e aplicado indiscriminadamente por aviões adaptados no controle da malária, da tifo e de piolhos dos combatentes da guerra (KISSMANN, 2001); e a Guerra do Vietnã em meados dos anos 50, em que o agente laranja (mistura dos herbicidas 2,4-D e 2,4,5-T), foi pulverizado por aeronaves norte americanas nas florestas do Vietnã com o objetivo de dizimar a produção de alimentos e desfolhar as florestas vietnamitas, deixando os inimigos expostos.

Com o avanço tecnológico e o aumento da população mundial, formas mais eficientes de proteção das culturas fornecedoras de alimentos passaram a surgir desenfreadamente, como empresas produtoras de produtos fitossanitários e também

de equipamentos pulverizadores. Kissmann (2001) cita que o aprimoramento da eficiência de produtos fitossanitários e de máquinas de bom desempenho fez do Brasil uma referência agrícola de nível mundial.

A eficiência dos herbicidas no controle de plantas invasoras somada a máquinas adequadas para a aplicação torna possível a eliminação dos agentes capazes de reduzir a produção de uma cultura economicamente viável, porém um fator que pode colocar a pulverização em risco é a falta de informações sobre as formas corretas de aplicação dos produtos. Cunha et al., (2004) afirmaram que aplicações de produtos fitossanitários sem a utilização de tecnologias e conceitos adequados podem até exercer um efeito desejado, mas são realizadas de forma ineficiente, aumentando o número de aplicações necessárias e elevando os custos de produção.

A pulverização é definida por Chistofoletti (1999) como um processo mecânico de formação de gotas de uma calda a partir de uma ponta de pulverização. Antuniassi (2012) define alguns parâmetros necessários para que uma aplicação possa atingir o alvo, sendo eles a taxa de aplicação e a correta seleção das pontas de pulverização a serem utilizadas, levando em consideração e respeitando os limites das condições ambientais que podem prejudicar ou auxiliar na chegada do produto ao alvo no momento da aplicação, como velocidade do vento, temperatura ambiente e umidade relativa do ar. Autores como Balan et al. (2006); Gazziero et al. (2006) ainda citam fatores biológicos; fatores relacionados ao alvo (forma, tamanho e posição); e fatores ligados a formação das gotas (densidade, diâmetro e velocidade). Antuniassi; Baio (2008) citam ainda as recomendações agronômicas de cada produto como sendo de essencial conhecimento por parte dos aplicadores que buscam eficiência na aplicação.

Um grande desafio da tecnologia de aplicação está na distribuição do agroquímico em todos os estratos da cultura, sendo frequente a falta de uniformidade nas aplicações, apresentando maiores quantidades em locais mais expostos. Desta forma, diferenças entre depósitos são atribuídas ao terço da cultura que será analisada no determinado estudo (BAUER E RAETANO, 2004, BOSCHINI et al., 2008; PRADO et al., 2010; VILLALBA et al., 2009).

Courshee (1967) propôe uma teoria capaz de avaliar a existência de relação entre os parâmetros que determinam a qualidade da aplicação, sendo a Equação 1:

$$C = 15\frac{VRK^2}{AD} \qquad (1)$$

Onde V = Taxa de pulverização, R = Taxa de recuperação da calda nas folhas, K = Fator de espalhamento de gotas, A = Área foliar e D = Diâmetro das gotas.

Seguindo a teoria, o aumento na cobertura se faz possível com o aumento da taxa de aplicação. Sendo assim, a produção de maiores quantidades de gotas numa mesma área aumenta a cobertura dos alvos nas pulverizações, devendo então aumentar a taxa de aplicação utilizada.

Seguindo a tendência da agricultura brasileira, menores volumes de calda vêm se popularizando, principalmente pelo aumento na eficiência da operação. Aplicações de baixo volume requerem partículas menores para obtenção de boa cobertura. Pesquisadores como Hanks (1995) lembram que gotas pequenas se perdem com muita facilidade e não atingem o alvo.

No campo da pesquisa, o aumento no número de encontros entre pesquisadores da área como Congressos e Simpósios, e o avanço nos métodos de estudos em tecnologia de aplicação têm acontecido com a intenção da melhoria do entendimento do processo de colocação do agroquímico no alvo, assim como da redução das perdas de uma pulverização. Carvalho (2013) ainda completa relatando quais fatores e tecnologias têm sido mais pesquisados, como as relações entre taxas

de aplicação e a cobertura dos alvos, os adjuvantes de calda, pontas de pulverização, equipamentos para pulverização, entre outros, que quando corretamente utilizados em associação uns com os outros, constituem o conceito de tecnologia de aplicação e podem melhorar a qualidade da aplicação.

2.6 Espectro de gotas

Para aplicações terrestres ou aéreas, o espectro de gotas é a mais importante variável a ser pré-definida, pois assim que escolhida poder fornecer informações sobre a aplicação, como níveis de eficiência e potencial de deriva (KIRK, 2003).

A uniformidade das gotas que saem pelo orifício da ponta requer atenção, pois aplicações com maior uniformidade fornecem melhor controle de alvos. Mota (2011) cita a importância da quantificação de todas as partículas formadas, separando em parâmetros, como amplitude relativa, diâmetro mediano numérico (DMN) e diâmetro mediano volumétrico (DMV). Cunha et al., (2004) afirmam que a amplitude relativa é definida pela uniformidade do espectro pulverizado e que quanto maior é o valor, menor homogeneidade possui a pulverização. Num montante de todas as gotas

pulverizadas, dividindo-se em duas partes por tamanho e tendo a soma da parte das gotas maiores igual a soma da parte das gotas menores, estabelece-se um diâmetro que possa dividir estas 2 partes, chamado de DMV. O diâmetro que separa as gotas em duas partes por quantidade, tendo 50% de gotas maiores e 50% de gotas menores é chamado de DMN. Outro fator que deve ser analisado é o percentual de gotas menores que 100 µm, sendo esse valor considerado como volume perdido da pulverização, uma vez que partículas deste tamanho não possuem capacidade de atingir alvos agrícolas.

Matthews (2000), propôe tamanhos de gotas adequados para as pulverizações, classificando gotas como muito finas aquelas com tamanhos entre 50 e 100 µm e tendo alta susceptibilidade à ventos fortes, possibilitando a ocorrência de deriva da aplicação. Por outro lado, gotas menores têm como vantagem melhor uniformidade de pulverização. O autor ainda conclui que partículas de maior tamanho se depositam melhor em alvos horizontais, pela maior resistência à ação do vento.

Ozkan (1998), complementa que para aplicações com pulverizadores terrestres ou aéreos, a formação de partículas com diâmetros menores que 100 µm possuem maior probabilidade de evaporação previamente à chegada nos alvos, e gotas que tenham diâmetro maior que 200 µm podem evitar este acontecimento e têm alta probabilidade de alcançar o alvo desejado.

Com o auxílio de equipamento medidor de partículas, Gandolfo (2014) chama a atenção para mais um fator de essencial análise no espectro de gotas da pulverização: o percentual de gotas menores que 100 µm. O autor também o correlaciona com o parâmetro anteriormente citado DMV, e explica que a tendência tem sido, para aplicações com bicos hidráulicos, de maiores DMV´s somados a menores percentuais de gotas abaixo de 100 µm, e vice-versa.

A eficiência da pulverização tem relação direta com as condições meteorológicas, e, se não respeitadas, podem diminuir a eficiência, ocasionando perdas por deriva na presença de ventos excessivos e perdas por evaporação com baixa umidade e alta temperatura (CHRISTOFOLETTI, 1999; ANTUNIASSI, 2009). Antuniassi et al. (2005) propõem os limites apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Limites de temperatura e umidade relativa do ar para diferentes tamanhos de gotas (Fonte: Antuniassi et al., 2005).

Fatores	Classes de gotas de acordo com as condições climáticas		
	Muito finas ou finas	Finas ou médias	Médias ou grossas
Temperatura	Abaixo de 25ºC	25 a 28 ºC	Acima de 28 ºC
Umidade Relativa	Acima de 70%	60 a 70%	Abaixo de 60%

Chechetto (2011) afirma que para obtenção de qualquer nível de sucesso na pulverização, é imprescindível a classificação e conhecimento das partículas formadas pulverizadas. Conhecer as características das pontas a serem usadas também e essencial, uma vez que, se bem escolhidas, podem formar partículas de tamanho adequado e seguro, propiciando uma aplicação com eficiência e respeito ao meio ambiente (CUNHA et al., 2008).

2.7 Deriva de produtos fitossanitários

Christofoletti (1999) definiu deriva como a porção da pulverização que não atinge o alvo. A Agência de Proteção Ambiental Americana (U.S.EPA, 2015) define deriva como o deslocamento de partículas que contenham agroquímicos no momento da pulverização ou após a mesma, se destinando a pontos posicionados fora da área que deve ser tratada. Cabe ressaltar que evaporação é um processo completamente diferente. Após a ocorrência de evaporação das gotas, o agroquímico é deslocado pela atmosfera, caracterizando este fator como a volatilização do agroquímico (U.S.EPA, 2016). Miller (2003) discute que a grande parte dos agroquímicos tem característica de baixa pressão de vapor, que segundo o autor limita drasticamente a evaporação.

Segundos os autores Himel (1974), Combellack (1982) e De Schampheleire et al. (2007), a falta de eficiência na pulverização pode ocorrer por fatores internos, dentro dos limites pulverizados, sendo conhecido como escorrimento das gotas. Este tipo de perda é cliassificada como endoderiva e exoderiva (HIMEL, 1974; COMBELLACK,

1982). Os autores explicam que as partículas podem permanecer internamente a área pulverizada, não sendo fixadas na cultura e não podendo ser absorvidas pelos alvos, definindo a endoderiva. Por outro lado, assim que estas mesmas partículas não continuam dentro dos limites pulverizados por algum motivo e têm seu trajeto desviado para locais fora da área que necessita pulverização ou até mesmo outras propriedades adjacentes, define-se a exoderiva.

Al Heidary et al. (2014) formam uma equação matemática que procura definir a perda por deriva pelo processo de alteração do movimento das partículas pulverizadas, ocasionadas pela força de arrasto proveniente da existência de ventos. Esta expressão está apresentada na Equação 2:

$$Fa = \frac{1}{2} * Ft * D * Ag * (Vd - Va)^2 \quad (2)$$

Onde: o fator de arrasto, Ft, depende do formato da gota, sendo que as gotas normalmente têm formato esférico, e do número de Reynolds. Quando a gota apresenta maior esfericidade, o fator se tornará maior também. O fator área da gota, apresentado por Ag, indica o espaço que a gota ocupa frontalmente no movimento ($\pi D^2\ 4^{-1}$) em m^2, e Vd e Va apresentam a velocidade das gotas e do ar, respectivamente, em m s^{-1}. A letra D representa a densidade do líquido, em kg m^{-3}. Porém, esta fórmula tem o objetivo de apresentar um fator dinâmico, por isso deve ser levado em consideração outros fatores que atuam nas gotas no momento que elas estão em movimento. Hinkle (1991) cita que a velocidade do ar e das gotas pode não ser uniforme e existem variações na densidade (HINKLE, 1991). Cabe ressaltar que o arrasto das gotas é proporcional ao diâmetro delas, sendo este parâmetro mais fácil de análise em laboratórios.

A esfera da gota formada com agroquímicos não é alvo frequente de estudos na área de tecnologia de aplicação, devido aos analisadores de gotas mais comuns utilizarem a técnica de difração de raios laser, não sendo capaz de produzir esta informação (MILLER; BUTLER ELLIS, 2000; HOFFMANN et al., 2007; FRITZ, et al., 2012).

Al Heidary et al. (2014) ressaltam a dificuldade de conclusões sobre deriva, por ser um parâmetro definido pela junção de grande número de fatores. Os autores os separam em grupos distintos, sendo eles: perfil das partículas aplicadas, como

diâmetro, aceleração e desaceleração, além de características da mistura (compatibilidade); fatores da própria operação de pulverização, como distância das pontas ao alvo, pressão do circuito e deslocamento do pulverizador; e também fatores climáticos, como temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento.

Para Maybank et al. (1978), a existência de deslocamento de agroquímicos por ventos ou evaporação advém principalmente do perfil da massa de gotas formadas na pulverização e da possível tendência de evaporação de agroquímicos. Fatores climáticos entram em segundo plano de análise para os autores.

Seguindo este pensamento, Gil; Sinfort (2005) também apontam para a atenção com fatores climáticos, sendo eles a temperatura, umidade e velocidade do vento, que praticamente definem o sucesso da pulverização. Rajadas de vento e aumentos na temperatura, juntamente a menor umidade relativa do ar, podem aumentar drasticamente o percentual de perdas da pulverização. A produção de partículas de menor tamanho pelas pontas favorecem a deriva e a volatilidade de agroquímicos (ANTUNIASSI, 2005; ANTUNIASSI, 2009; FRITZ et al., 2010; GIMENES et al., 2013; CHECHETTO, 2013; GANDOLFO et al., 2014).

Ozkan (1998) também conclui que a pulverização fora dos limites climáticos estabelecidos pela literatura reduz drasticamente o sucesso de pulverizações. Os fatores velocidade de vento, umidade relativa do ar e temperatura seriam os principais, citando que os limites adequados a pulverização seriam valores de 3 a 10 km h^{-1} para o vento, acima de 55% para umidade e ambiente com temperatura abaixo de 30°C.

Thistle (2000) cita que pulverizações devem ser evitadas na ocorrência de instabilidade atmosférica, quando o vento é inexistente. O resultado colabora para situações de ação convectiva do ar e até mesmo inversão térmica, favorecendo as perdas na pulverização.

2.8 Influência das formulações nas características da pulverização

Diversos autores citam que características físico-químicas da mistura podem apresentar dificuldade no entendimento, (BUTLER ELLIS; TUCK, 1999; MOTA, 2011; CHECHETTO et al., 2013). Alterações na mistura em tanque podem resultar em distorções nas partículas formadas pelas pontas, espalhamento e evaporação das gotas, fazendo-se necessária análises prévias para total conhecimento (MILLER; BUTLER ELLIS, 2000; OLIVEIRA et al., 2015).

Pesquisadores buscam avaliar as diferentes formulações e moléculas existentes, quanto as perdas ocasionadas numa mesma formulação ou estudando classes de agroquímicos separadamente. Outros procuram um agroquímico que represente diferentes tipos de formulações, como fizeram Sanderson et al. (1997), Stainier et al. (2006) e Hilz; Vermeer (2012), buscando diferenças entre um inseticida fabricado nas formulações EC e WG.

Outro fator de extrema importância se caracteriza pelo conhecimento de interferências em formulações que não contenham ingrediente ativo na análise de deriva e evaporação (DOWNER et al., 1998). Agroquímicos classificados como “formulação branca”, em misturas alvo de análises, têm sido utilizados com intuito de simular o comportamento principal de agroquímicos vendidos comercialmente. Alguns laboratórios limitam as pesquisas utilizando formulações reais, ou não priorizam o uso de vestimentas apropriadas e seguras em análises internas (HOFFMANN et al., 2007; NUYTTENS et al., 2009; FRITZ et al. 2010). Pesquisas neste modelo normalmente são direcionadas para áreas distintas da tecnologia de aplicação, como a busca de novos aditivos ou ainda averiguações baseadas em leis, porem o uso como base de referência de literatura pode ser questionado.

Poucos estudos são conclusivos na literatura, e menor ainda é número de pesquisas confiáveis que apresentem o padrão de comportamento de produtos comerciais ou moléculas separadamente nas principais características de avaliação da tecnologia de aplicação e sua qualidade quando estabelecida em campo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local

O presente estudo foi realizado na Fazenda Experimental Lageado da Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP, em Botucatu – SP, no Laboratório de Máquinas para Pulverização do Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agrícolas (NEMPA) no período de Março a Setembro de 2015.

3.2 Tratamentos em análise

O estudo foi estabelecido seguindo um arranjo com uma classe de produtos fitossanitários (herbicidas) por 3 tipos de formulações (Concentrado emulsionável – EC, suspensão concentrada – SC e granulado dispersível - WG).

Foram avaliados os efeitos das formulações EC, WG e SC de herbicidas no espectro de gotas e no percentual de deriva das pulverizações. Também foram comparadas as relações entre os parâmetros de espectro e deriva com os produtos pré e pós emergentes, de ação sistêmica e de contato e controle de folhas largas e estreitas. As dosagens foram estabelecidas segundo recomendação proposta em bula para a cultura da soja.

A dosagem dos agroquímicos foi estabelecida a partir da simulação de uma taxa de aplicação de 50 L ha^{-1}. Considerando as alterações de dosagem no espectro de gotas, definiu-se este volume de aplicação com o objetivo de representar uma concentração alta dos produtos fitossanitários nas misturas estudadas, favorecendo diferentes comportamentos nos parâmetros avaliados (OLIVEIRA, 2011; CAMPOS et al., 2012). Os valores médios de temperatura e umidade do interior do laboratório durante o estudo foram de 21,08º C (±0,74º C) e 73,34% (±3,47%), respectivamente.

Desta forma, as análises dos resultados foram realizadas em duas etapas. Primeiro, foi estudada as interações do espectro de gotas da pulverização e do percentual de deriva dos agroquímicos de cada formulação e em seguida das médias de cada formulação, buscando as características individuais de cada produto e de cada formulação, respectivamente. A segunda etapa constituiu a avaliação e discussão dos resultados coletados de espectro de gotas e percentual de deriva e sua

relação com os mecanismos de ação, teores de solubilidade em água e nível de sorção, ação nas plantas invasoras e predominância de controle. Desta forma, foi possível avaliar apenas o efeito das formulações nos parâmetros em estudo e, posteriormente, discutir se as características de espectro de gotas e percentual de deriva são ou não desejáveis para as formulações testadas no presente estudo.

Os nomes comerciais, as formulações, os fabricantes, a quantidade de ingrediente ativo informado em bula e a quantidade de ingredientes inertes contidos na embalagem estão descritos no Quadro 2, e os produtos comerciais, as formulações, os mecanismos de ação, a ação nas invasoras e predominância de controle dos herbicidas testados estão apresentados no Quadro 3.

Quadro 2 - Produto comercial, formulação, fabricante, quantidade de ingrediente ativo (g ou mL ha^{-1}) e quantidade de ingredientes inertes.

Produto comercial	Formulação	Fabricante	Quantidade de i.a. informado (mL ou g)	Quantidade de inertes informado (mL ou g)
Verdict	EC	Dow AgroSciences	124,7	804,3
Goal	EC	Dow AgroSciences	240	777
Select	EC	Arysta LifeScience	240	705
Dropp Ultra	SC	Bayer CropScience	120+60	827,6
Callisto	SC	Syngenta	480	712,5
Combine	SC	Dow AgroSciences	500	633
Scorpion	SC	Dow AgroSciences	120	940
Spider	WG	Dow AgroSciences	840	160
Fordor	WG	Bayer CropScience	750	250
Pacto	WG	Dow AgroSciences	840	160

Quadro 3 - Produto comercial, formulação, mecanismo de ação, ação nas invasoras e predominância de controle dos herbicidas testados

Produto comercial	Formulação	Recomendação	Ação nas plantas daninhas	Predominância de controle*
Verdict	EC	pós emergência	sistêmico	FE
Goal	EC	pré/pós emergência	contato	FE+FL
Select	EC	pós emergência	sistêmico	FE
Dropp Ultra	SC	pós emergência	contato	FL
Callisto	SC	pós emergência	sistêmico	FE+FL
Combine	SC	pré emergènci a	sistêmico	FE+FL
Scorpion	SC	pré emergènci a	sistêmico	FL
Spider	WG	pré emergènci a	sistêmico	FL
Fordor	WG	pré emergènci a	contato	FE+FL
Pacto	WG	pós emergência	sistêmico	FL

*FE = Folha estreita e FL = Folha larga

3.3 Análise do espectro de gotas

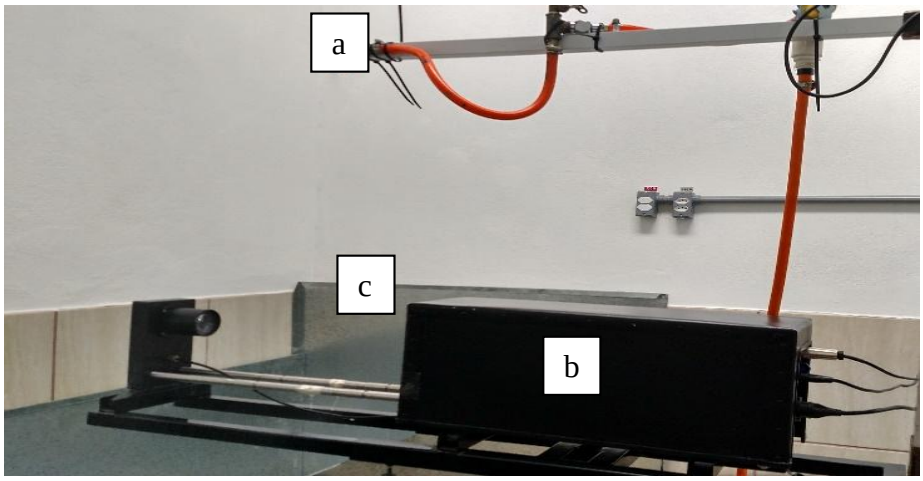
As pulverizações foram feitas com a ponta de pulverização de jato plano de uso ampliado, modelo XR (Extended Range) 8003VS (ângulo de formação de leque de 80º, produzida em aço inoxidável) da fabricante TeeJet / Spraying Systems CO, com a pressão de operação de 200 kPa (2 bar). Estas condições foram selecionadas a partir de literatura previamente desenvolvida por Moreira Júnior; Antuniassi (2010), pois os autores concluíram que tais combinações poderiam possibilitar diferenciação dos percentuais de deriva em túnel de vento em função das formulações adicionadas às caldas de pulverização.

A mistura entre a água e o produto fitossanitário a ser pulverizada foi acomodada em um reservatório cilíndrico (tanque), de aço inoxidável (capacidade máxima de 10 litros), e sua pressurização foi feita com a conexão de um cilindro abastecido com CO_2. Foram utilizados 8 litros de calda para as análises.

O espectro das gotas foi avaliado com um equipamento leitor de partículas, modelo VisiSize Portable P15 (Oxford Lasers, Imaging Division, Oxford, U.K.) (Figura 5). As imagens captadas pelo equipamento foram avaliadas em tempo real pelo

software que o acompanha (Visisize Particle Sizing). O software pôde avaliar os parâmetros do espectro com o uso da técnica de Particle/Droplet Image Analysis (PDIA) ou Análise de Imagens de Partículas/Gotas. Tal metodologia já foi validada em outros trabalhos, como descreve Guler et al. (2007).

Figura 1 - Bico de pulverização e analisador de partículas por imagens VisiSize Portable P-15



Para as análises das gotas, foi utilizada a lente número 3, com um grau de ampliação número 2, permitindo que tal configuração tivesse capacidade de captar e medir partículas de 21 µm até 5650 µm. Para simulação de condições reais de pulverização, a ponta foi colocada a 50 cm acima da região de avaliação do equipamento, simulando a altura de uma barra de pulverização em campo. As leituras foram realizadas em uma área central da pulverização, com dimensões de 5656 x 5656 mm de largura e altura, tendo o equipamento analisado 10000 partículas por repetição. Neste método, um flasher de LED, equipado no analisador, faz flashs de luz no exato momento que a câmera lê a área central de análise, fazendo com que a medição da sombra das partículas seja possível. As partículas que se localizam nesta área central são medidas pelo software do equipamento.

Este sistema analisa até 1000 gotas por captura, dependendo de seu tamanho. As partículas que passam pela região de captura do equipamento são avaliadas e o software distingue e elimina da avaliação todas as partículas que podem não apresentar leitura bem definida.

Os parâmetros escolhidos para caracterização do espectro de gotas no presente estudo foram o diâmetro mediano volumétrico, o percentual de gotas menores que 100 µm e a amplitude relativa da pulverização.

3.4 Análise do potencial de deriva

O potencial de deriva foi estimado por meio de um túnel de vento, seguindo metodologia desenvolvida por Moreira Junior (2009), adaptada de acordo com as recomendações da norma ISO 22856:2008. Neste método, a ventilação gera ar a uma velocidade controlada, incidindo nas gotas pulverizadas e o deslocamento das partículas é capturada em alvos artificiais (fios de nylon) posicionados a 2 metros da ponta de pulverização, na seção de testes. Cinco fios foram posicionados a cada 0,1 m (0,1, 0,2, 0,3 0,4 e 0,5 m a partir do fundo do túnel), visando a coleta do perfil vertical na distância programada de 2 m da ponta. O modelo de túnel de vento utilizado é de circuito aberto, ou seja, não há recirculação do ar (Figura 2).

Figura 2 - Foto do túnel de vento utilizado para as análises de deriva.

Os ensaios foram realizados com uma média de velocidade de vento de 2,5 m s^{-1}, correspondendo a valores de recomendações técnicas propostas por Antuniassi (2012). O corante Azul Brilhante FCF – INS 133 (International Numbering System for Food Additives) foi utilizado como marcador nas amostras, também conhecido por sua

denominação norte-americana como FD&C Blue n.1 (Food, Drug & Cosmetic). A dose utilizada foi de 6 g L^{-1}, diluída em água antes de sua mistura com todas as caldas dos agroquímicos que seriam pulverizados.

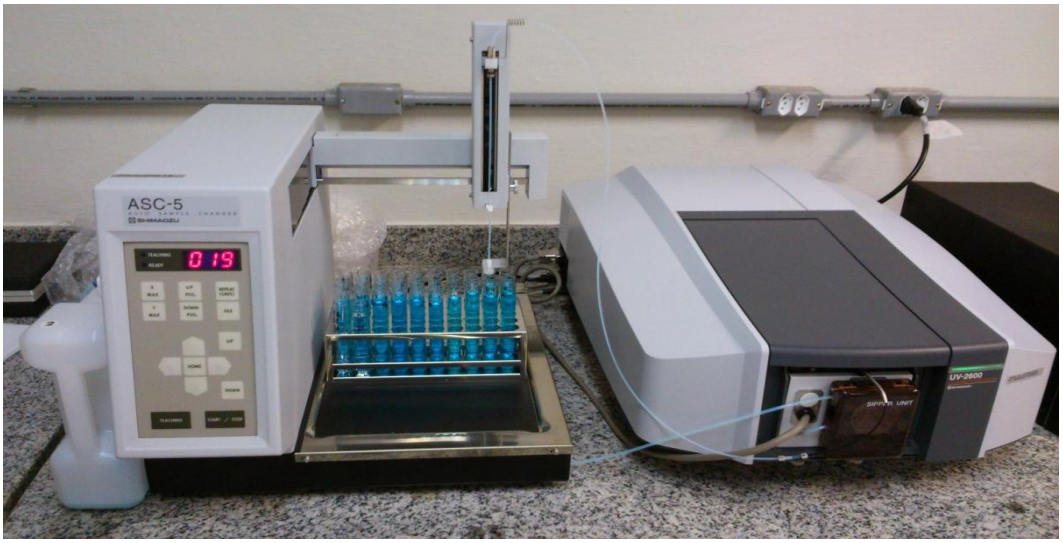
Cada repetição foi caracterizada por 20 segundos de pulverização, essa pulverização foi feita após o ventilador ser ligado e o fluxo de ar ser estabilizado dentro do túnel. Para cada tratamento foram realizadas três repetições. Após cada repetição, os fios foram coletados e armazenados em sacos plásticos, para posterior extração do corante. Foram coletadas amostras de cerca de 250 mL de cada calda, usadas posteriormente como referencial nos cálculos de estimativa de corante em cada fio por meio de curvas padrão. Para cada repetição foram utilizados fios novos, assegurando que não havia resíduos de corante de tratamentos anteriores. A deriva coletada nos fios de nylon foi extraída através da lavagem de 90 mL água deionizada com agitação por 15 segundos.

Figura 3 - Esquema da seção de testes do túnel de vento com os coletores posicionados.

O líquido resultante da lavagem dos fios foi colocado individualmente em tubos de ensaio e imediatamente submetidos à análise em um espectrofotômetro (Marca Shimadzu, modelo UV-2600, Figura 4).

Com os resultados de absorbância de cada leitura, foi calculada a concentração de corante em mg L^{-1} presente em cada amostra. Para isso foi feita a confecção de curvas padrão a partir de concentrações conhecidas que foram obtidas da diluição das amostras de caldas utilizadas para cada tratamento. A partir dos resultados de concentração de corante calculado para cada amostra, executou-se o cálculo da quantidade de corante coletada em cada fio. Com os valores de corante presentes em cada um, estimou-se o índice de deriva (através da soma da deriva em todos), calculado como um percentual do volume da calda pulverizada retido nos fios (índice de deriva total).

Figura 4 - Espectrofotômetro utilizado para leitura da absorbância de cada amostra de deriva, para posterior cálculo de corante em ppm por tratamento.



3.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e todas as variáveis foram significativas pelo teste F. Após a ANOVA foi aplicado análise de agrupamento dos herbicidas em função das variações do DMV, V100, AR e deriva por meio do teste de Scott-Knott ($p<0,05$). Também foi realizado a análise da associação conjunta e

entre as variáveis DMV, V100, AR com a deriva por meio da análise de correlação linear de Pearson ($p<0,001$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

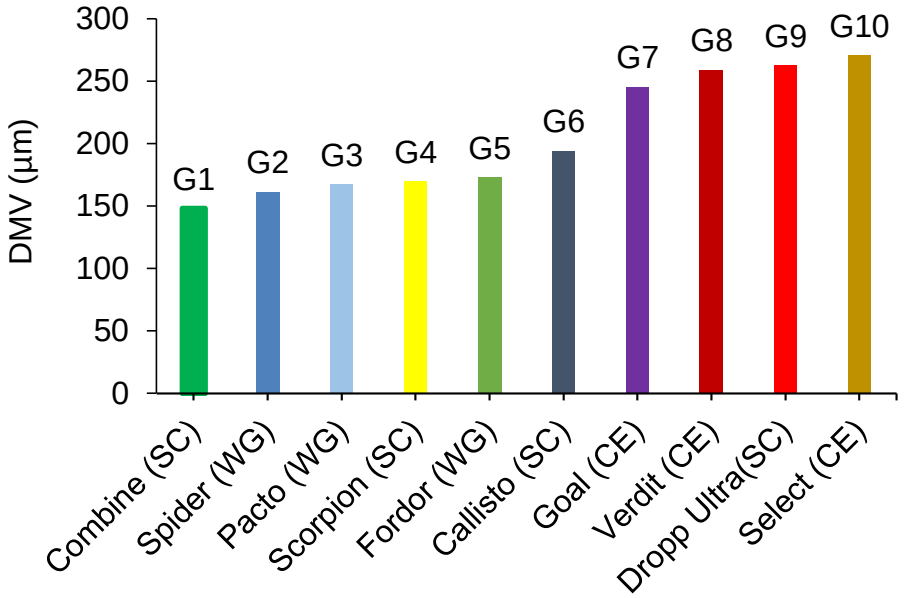
De acordo com a análise estatística, foram observadas diferenças significativas nas comparações dos tratamentos entre os herbicidas testados. Também foi realizada a análise das correlações entre os parâmetros testados, para confirmação da adequação da metodologia para o presente estudo.

4.1 Análise de agrupamento pelo teste Scott-Knott (p<0,05)

4.1.1 Análise do Diâmetro Mediano Volumétrico

Os valores de diâmetro mediano volumétrico das pulverizações estão descritos e agrupados na figura 5. Nota-se que o tratamentos contendo Select apresentou o maior DMV entre os testados (270,5) e o menor valor analisado foi apresentado pelo tratamento Combine(148,2).

Figura 5 - Diâmetro mediano volumétrico dos diferentes tratamentos em aplicação com a ponta de jato plano de faixa estendida (XR).



A análise de agrupamento mostra que nenhum dos DMV´s testados no presente estudo apresentaram semelhança a ponto de se agrupar a outro, tendo a análise

formado grupos diferentes para cada DMV analisado, caracterizando diferenças entre todos os DMV´s, independente da formulação.

Analisando separadamente cada DMV de cada formulação, algumas semelhanças podem ser encontradas. Nota-se que os herbicidas pertencentes a formulação CE testados possuem diferentes quantidades de ingredientes ativos e consequentemente diferentes quantidade de ingredientes inertes, porém a principal característica desta formulação é a presença de óleo, que pode aumentar o tamanho das gotas, colaborando para que as 3 formulações CE testadas estejam entre os 4 maiores DMV´s do estudo, corroborando com Oliveira (2011). Este fato pode explicar que a quantidade de surfactantes e óleos presentes na formulação pode não apresentar interferência no processo de formação de gotas maiores entre produtos da mesma formulação, mas aumentam o tamanho das gotas em relação as demais formulações, fato observado também por Oliveira (2011).

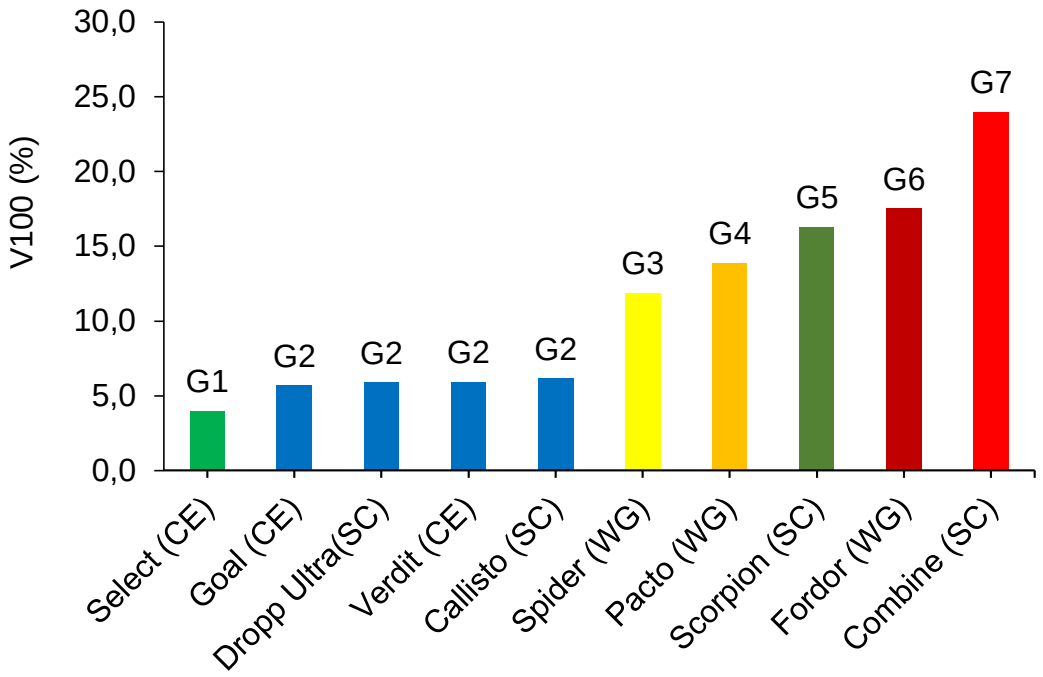
Outra semelhança encontrada foi em relação ao DMV das formulações WG, pois apesar de não se agruparem, os 3 herbicidas desta formulação estão entre os 5 menores avaliados. Ozkan et. al. (1998) ressaltam que pulverizações que sejam feitas com gotas de diâmetro menor que 200 µm têm maior chance de evaporarem e serem levadas com maior facilidade pelo vento antes sequer de chegar ao alvo, sendo facilmente perdidas no trajeto entre a ponta e a cultura, fato reforçado por diversos autores (ANTUNIASSI, 2005; ANTUNIASSI, 2009; FRITZ et al., 2010; GIMENES et al., 2013; CHECHETTO, 2013; GANDOLFO et al., 2014). Matthews (2000) também relata que gotas desse diâmetro possuem alta suscetibilidade a ação do vento, e este tratamento apresentaria maior prejuízo ambiental.

Analisando separadamente as formulações SC, pode-se perceber alta variabilidade de valores. Porém segundo Knowles (2008), a formulação SC apresenta menores custos, tornando viável a adição de adjuvantes de calda que visam reduzir as perdas aumentando o DMV da calda. Neste mesmo sentido, autores como Pontzen; Vermeer (2012) também adotam a mesma postura, considerando ainda que produtos SC de ação sistêmica necessitam da adição de adjuvantes que possam reduzir perdas e aumentar a retenção do produto fitossanitário nas folhas.

4.1.2 Análise do percentual de gotas menores que 100 µm

O resultado da análise de agrupamento do percentual de gotas menores que 100 µm das pulverizações está descrito na Figura 6. Para esta análise foram encontrados agrupamentos (G2), revelando correlação entre herbicidas.

Figura 6 - Percentual de gotas menores que 100µm dos diferentes tratamentos em aplicação com a ponta de jato plano de faixa estendida (XR).



A análise de agrupamento revelou semelhança entre os resultados dos herbicidas Goal (CE), Dropp Ultra (SC), Verdict (CE) e Callisto (SC), porém apesar da formação do agrupamento, este grupo é formado por herbicidas de diferentes formulações, mostrando novamente que não há relação entre as formulações e herbicidas estudados quando analisados em conjunto.

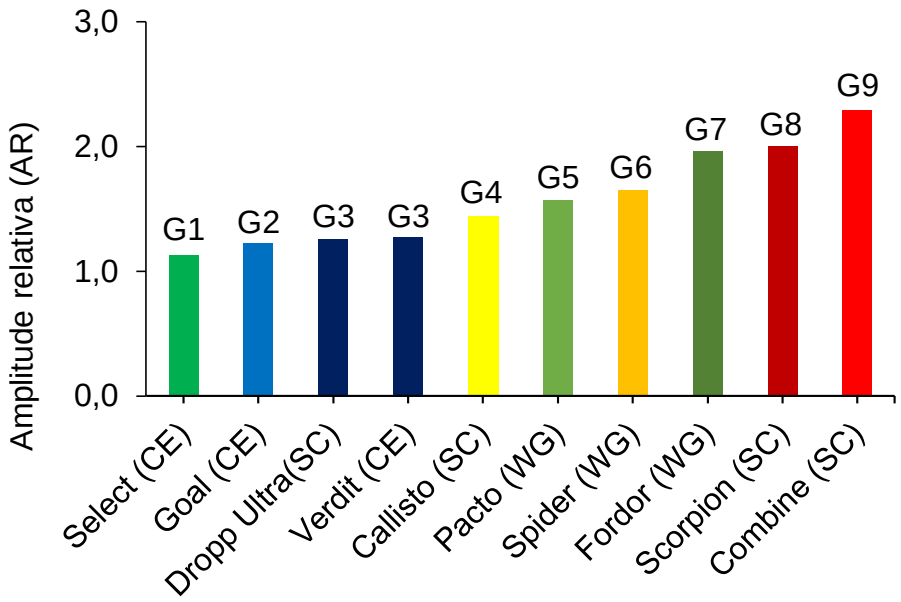
Pode-se observar novamente o comportamento das formulações EC, reduzindo o percentual de gotas mais finas. Este teste corrobora com a análise anterior, uma vez que a presença de óleo em sua formulação também contribui para a redução das gotas menores que 100 µm. Cabe ressaltar que esta formulação apresentou, entre as demais, maiores DMV´s atrelados a menores percentuais de gotas menores que

100µm, e Gandolfo (2014) chama a atenção para a melhor característica em relação a redução de perdas pela pulverização.

4.1.3 Análise da Amplitude Relativa da pulverização

O agrupamento dos resultados de amplitude relativa do espectro de gotas pulverizado dos tratamentos está apresentado na Figura 7. A análise identificou a formação de um grupo entre os tratamentos estudados.

Figura 7 - Amplitude relativa dos diferentes tratamentos de herbicidas da formulação EC em aplicação com a ponta de jato plano de faixa estendida (XR).



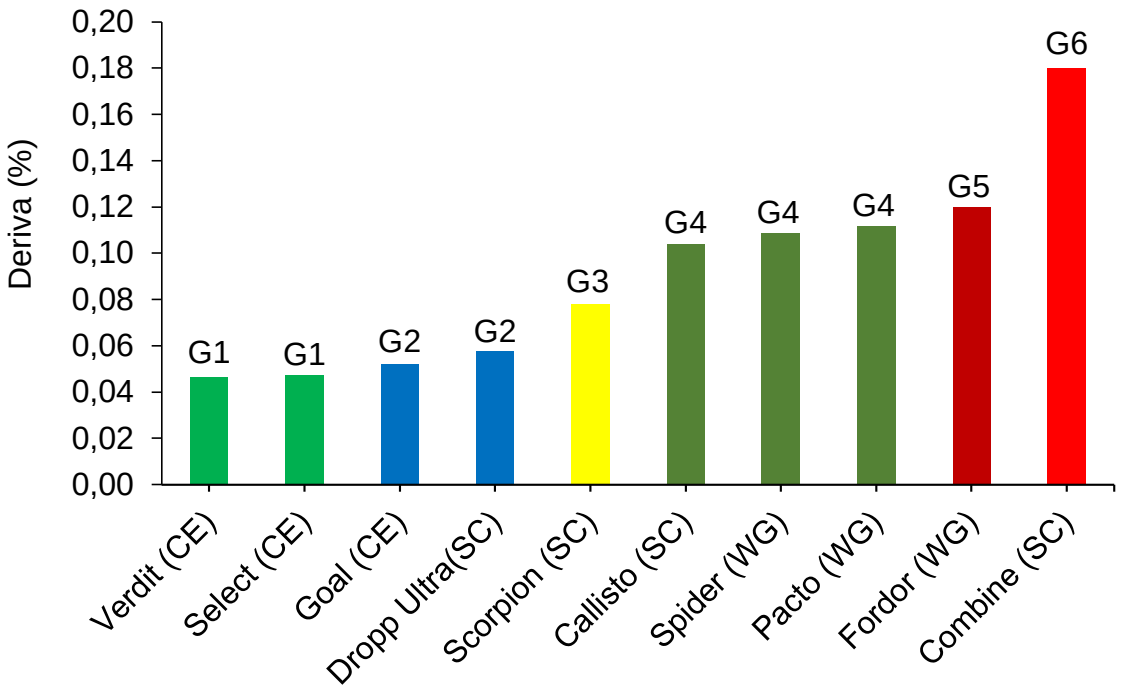
Novamente a análise de agrupamento revelou semelhança entre os resultados dos herbicidas Dropp Ultra (SC) e Verdict (CE), porém novamente destaques não podem ser atribuídos devido ao agrupamento incluir herbicidas de diferentes formulações, evitando a relação entre formulações.

Os valores observados mostram que os herbicidas da formulação CE testados apresentaram valores muito próximos a 1. Segundo Antuniassi; Baio (2008), quanto mais distante for o valor de 1, pior será a relação entre os parâmetros de diâmetro mediano volumétrico e diâmetro mediano numérico, caracterizando uma pulverização com grande variabilidade no tamanho das gotas formadas.

4.1.4 Análise do percentual de deriva da pulverização

Os agrupamentos realizados com os valores relativos ao potencial de deriva das pulverizações contendo os herbicidas estudados estão relacionados na Figura 8. Três agrupamentos foram formados para os testes.

Figura 8 - Potencial de deriva dos diferentes tratamentos em aplicação com a ponta de jato plano de faixa estendida (XR).



O grupo 1, formado pelos herbicidas Verdict e Select, ambos CE, apresenta o menor percentual de deriva. Apesar de ser o único parâmetro em que estes herbicidas pertencem a um mesmo grupo, nos demais testes foi possível observar que os resultados de ambos estavam muito próximos, juntamente ao herbicida Goal, também pertencente a formulação CE. A análise mais válida a se fazer nos parâmetros analisados para os herbicidas de formulação CE é sobre as boas características ambientais apresentadas, devido aos altos valores de DMV, baixos percentuais de gotas menores que 100 µm, boa uniformidade de espectro e baixo percentual de deriva. Antuniassi; Baio (2008); Gandolfo (2014); Chechetto (2011); Ozkan (1997) relatam os diversos prejuízos que podem ser gerados quando pulverizações não

apresentem bons parâmetros de pulverização, ocasionando aplicações mais perigosas, com maiores níveis de perdas e menor eficiência.

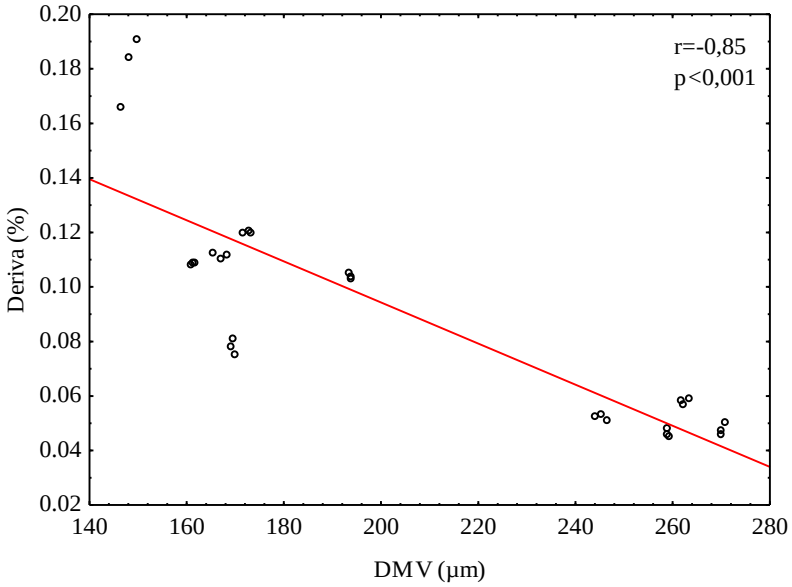
Outro destaque a se fazer é para a proximidade de resultados em todos os parâmetros analisados para o grupo 4, que contém 2 herbicidas da formulação WG, e o grupo 5 com o terceiro herbicida desta formulação. Apesar dos herbicidas WG não terem se encaixado em grupos iguais nas avaliações, os resultados encontrados no presente estudo mostram que esta formulação apresentou as piores características de pulverização dentre as testadas (menor DMV, maior percentual de gotas menores que 100 µm, alta amplitude relativa e maior deriva). Este comportamento pode caracterizar a dificuldade em se formular uma molécula WG visando boas características de pulverização. Vale lembrar que esta formulação apresenta maior custo de produção em relação as outras estudadas.

4.2 Análise da associação conjunta das variáveis pela correlação linear de Pearson ($p<0,001$).

4.2.1 Correlação entre diâmetro mediano volumétrico e deriva

A figura 9 apresenta a análise da correlação entre os parâmetros deriva e DMV dos resultados. Como pode ser observado, o aumento do DMV ocasionou a diminuição da deriva dos tratamentos, corroborando com resultados apresentados por Antuniassi; Baio (2012); Oliveira (2012) e mostrando que a metodologia utilizada para o presente estudo foi adequada e segura, considerando que o coeficiente de significância estatística ($p<0,001$) é baixo e a medição da força da relação dos resultados ($r= -0,85$) foi alta. Este comportamento é explicado pelo aumento do DMV proporcionar a pulverização partículas de maiores tamanhos, sendo estas menos suscetíveis a ação do vento e da evaporação e propiciarem menores quantidades de perdas em aplicações. As diferenças destes parâmetros observadas para as formulações não interferiram nesta análise, mostrando que o comportamento das pulverizações não sofre alterações drásticas de conceitos já estabelecidos de tecnologia de aplicação.

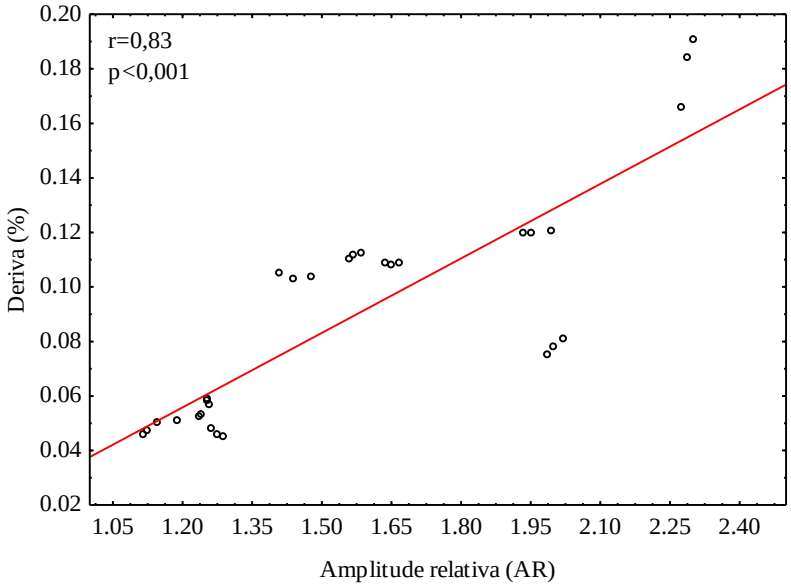
Figura 9 - Associação conjunta entre as variáveis deriva e DMV por meio da análise de correlação linear de Pearson (p<0,001).



4.2.2 Correlação entre amplitude relativa e deriva

A análise da correlação entre os parâmetros deriva e amplitude relativa está relacionada na Figura 10 e novamente mostra que a metodologia utilizada para o presente estudo foi adequada, devido ao fato de o aumento da amplitude relativa ocasionar o aumento da deriva dos tratamentos, corroborando com diversos resultados propostos na literatura, além de apresentar novamente baixo coeficiente de significância estatística (p<0,001) e forte relação entre os parâmetros (r=0,83). Este comportamento pode ocorrer devido a maiores valores de amplitude relativa representarem espectros de gotas menos homogêneos, facilitando a alta produção de gotas de tamanhos menores e ocasionando maior deriva. As diferenças destes parâmetros observadas para as formulações não interferiram nesta análise, mostrando que o comportamento das pulverizações não sofre alterações drásticas de conceitos já estabelecidos de tecnologia de aplicação.

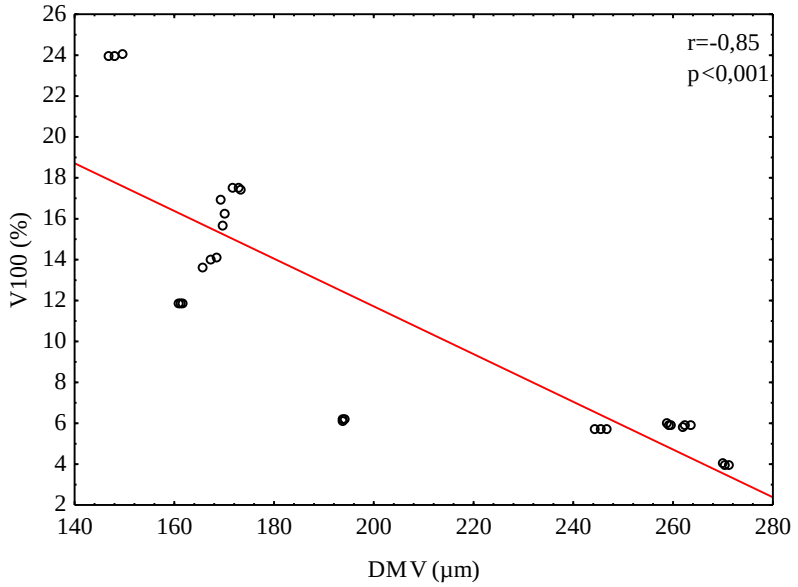
Figura 10 - Associação conjunta entre as variáveis deriva e amplitude relativa por meio da análise de correlação linear de Pearson (p<0,001).



4.2.3 Correlação entre diâmetro mediano volumétrico e percentual de gotas menor que 100 µm.

A figura 11 apresenta a análise da correlação entre os parâmetros DMV e percentual de gotas menores que 100 µm, e pode ser concluído novamente que a metodologia utilizada no presente estudo apresenta rigor científico, apresentando baixo coeficiente de significância estatística (p<0,001) e forte relação entre os parâmetros (r= -0,85), além de os conceitos de literatura preveem que o aumento do DMV deve sempre ocasionar a redução do percentual de partículas mais finas, fato já discutido anteriormente na análise entre DMV e deriva. A razão deste comportamento é atribuída a produção de gotas maiores sempre ocasionar redução da produção de gotas de menores tamanhos. As diferenças destes parâmetros observadas para as formulações não interferiram nesta análise, mostrando que o comportamento das pulverizações não sofre alterações drásticas de conceitos já estabelecidos de tecnologia de aplicação.

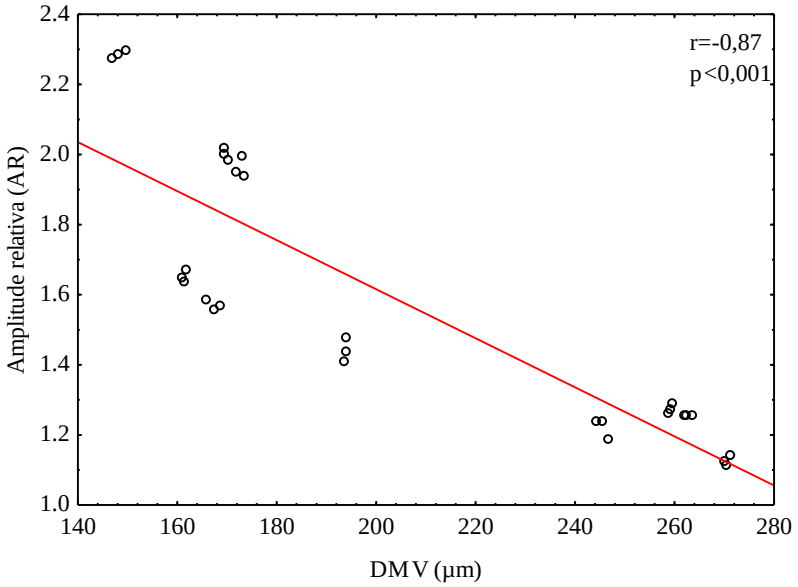
Figura 11 - Associação conjunta entre as variáveis percentual de gotas menores que 100 µm e DMV por meio da análise de correlação linear de Pearson (p<0,001).



4.2.4 Correlação entre diâmetro mediano volumétrico e amplitude relativa.

A análise da correlação entre os parâmetros DMV e amplitude relativa está apresentada na Figura 12 abaixo e mostra o comportamento já esperado e inversamente proporcional do DMV com a amplitude relativa, sendo que o aumento de um ocasiona a diminuição do outro. Novamente foi observado o baixo coeficiente de significância estatística (p<0,001) e forte relação entre os parâmetros (r= -0,87) concluindo novamente que a metodologia utilizada no presente estudo apresenta rigor científico, além também de conceitos já estabelecidos da literatura estabelecem esta mesma relação para estes parâmetros. As diferenças destes parâmetros observadas para as formulações não interferiram nesta análise, mostrando que o comportamento das pulverizações não sofre alterações drásticas de conceitos já estabelecidos de tecnologia de aplicação.

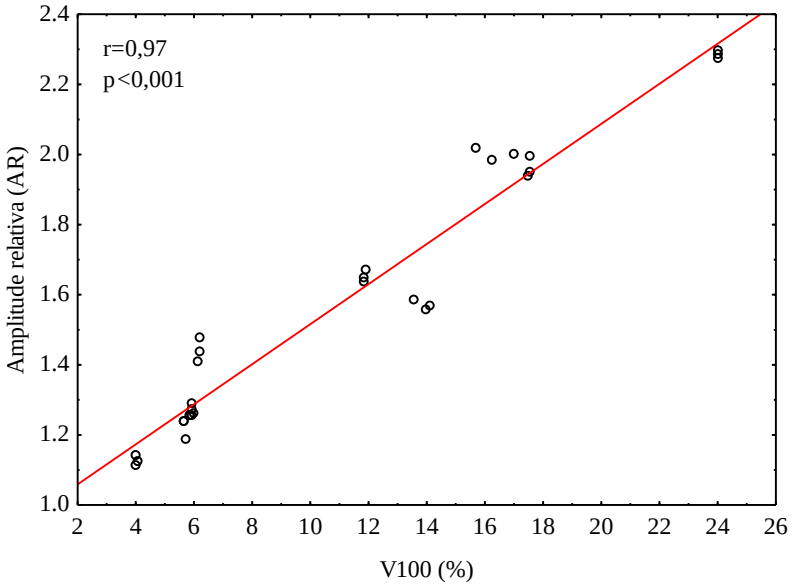
Figura 12 - Associação conjunta entre as variáveis DMV e amplitude relativa por meio da análise de correlação linear de Pearson (p<0,001).



4.2.5 Correlação entre percentual de gotas menores que 100 µm e amplitude relativa.

Para a análise da correlação entre percentual de gotas menores que 100 µm e amplitude relativa (Figura 13) podemos perceber a alta significância (p<0,001) e a forte relação entre ambos (r= 0,97), tendo os menores valores de percentual de gotas menores sempre pertencido aos tratamentos com amplitude relativa mais próxima de 1, corroborando com conceitos já estabelecidos de literatura e confirmando a adequação e segurança da metodologia para este estudo. Este comportamento se refere a pulverizações mais uniformes produzirem tamanhos de gotas mais homogêneos, com baixa diferença entre as maiores e menores gotas pulverizadas, reduzindo a quantidade de gotas muito finas ou muito grossas produzidas. As diferenças destes parâmetros observadas para as formulações não interferiram nesta análise, mostrando que o comportamento das pulverizações não sofre alterações drásticas de conceitos já estabelecidos de tecnologia de aplicação.

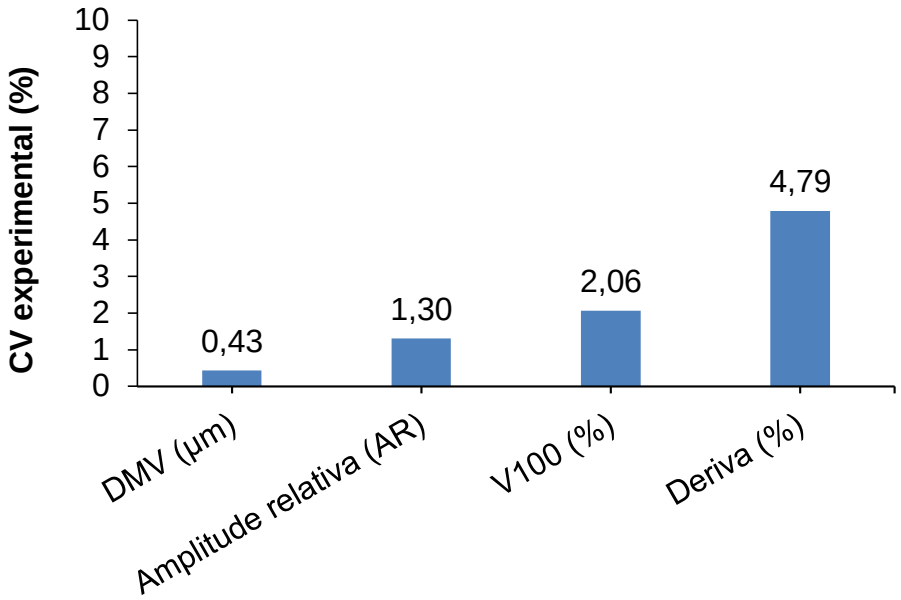
Figura 13 - Associação conjunta entre as variáveis percentual de gotas menores que 100 µm e amplitude relativa por meio da análise de correlação linear de Pearson (p<0,001).



4.3 Coeficiente de variação experimental

Para a comprovação da precisão dos equipamentos utilizados e das condições de laboratório do presente trabalho, também foi realizado o cálculo do coeficiente de variação das repetições de cada um dos parâmetros, apresentado na Figura 14. Segundo Pimentel-Gomes (2009), para este ensaio valores até 10% de coeficiente de variação caracterizariam o trabalho com um índice de variação baixo, estabelecendo a precisão do trabalho como sendo muito alta, proporcionando rigor científico dos dados, adequação de metodologia e segurança nos resultados.

Figura 14 - Coeficiente de variação experimental do presente estudo.

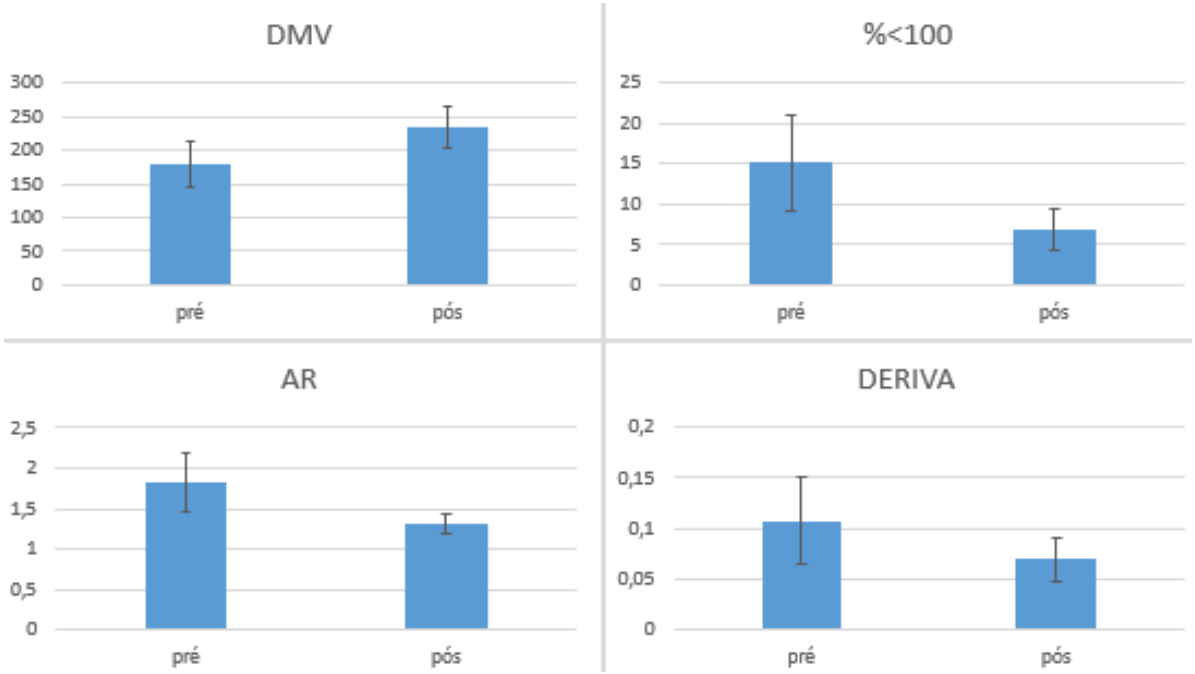


4.4 Estudo das relações entre os parâmetros estudados e características dos herbicidas

4.4.1 Relação entre os herbicidas pré e pós emergentes estudados

A Figura 15 apresenta os parâmetros de tecnologia de aplicação estudados e comparados para os herbicidas separados em ação de pré e pós-emergência. Pode-se perceber que, apesar das ações diferentes, no presente estudo nenhum dos parâmetros diferenciou significativamente entre os herbicidas pré e pós-emergentes estudados.

Figura 15 - Comparação dos parâmetros estudados em aplicação com a ponta de jato plano de faixa estendida (XR) para os herbicidas de ação em pré emergência (PRÉ) e em pós emergência (PÓS). Para a comparação dos resultados, os traços horizontais representam os valores médios e as linhas verticais indicam o Intervalo de Confiança ao nível de 95%.

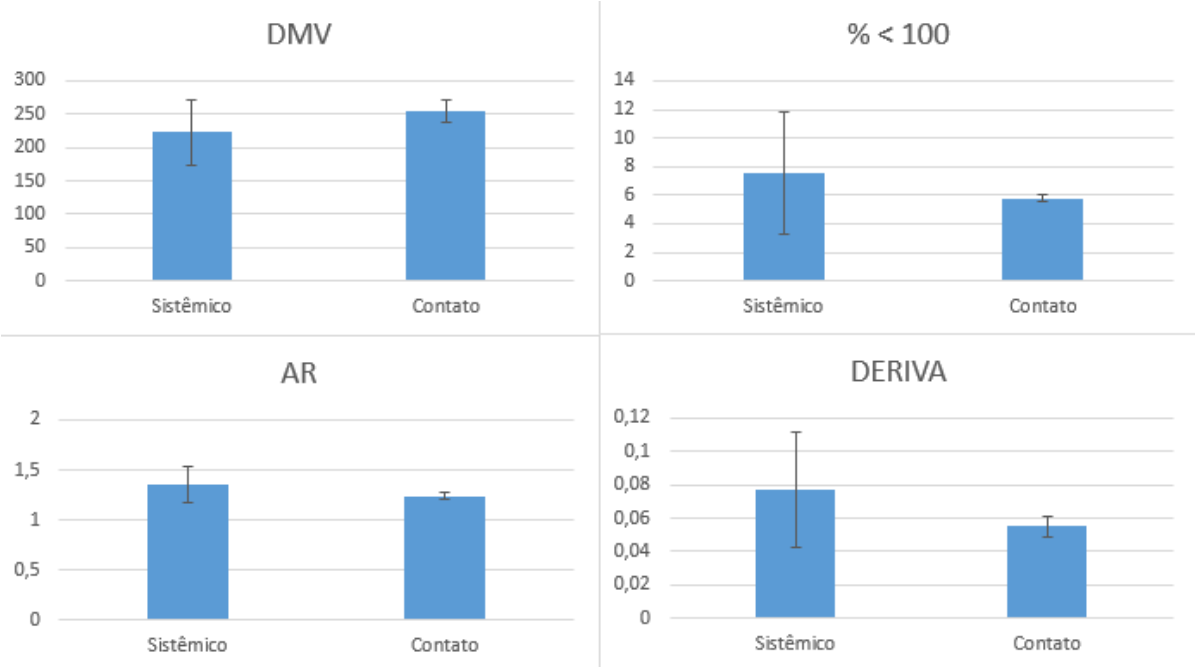


Segundo Gwynne; Murray (1985), herbicidas pré-emergentes têm longa vida útil no solo, demorando para serem degradados ou levados para fora da área de captação das plantas. Os autores ainda citam que sua efetividade está relacionada ao teor de água no solo, sendo a aplicação mais facilitada por se tratar do alvo ser o solo e estar completamente exposto. Peterson et al. (2011) citam que herbicidas pós-emergentes em geral necessitam boa cobertura de aplicação, devido aos alvos serem mais difíceis de atingir. Embora os autores acima apontem que tais herbicidas pós-emergentes necessitem melhores condições de aplicação, o presente estudo prova que não existe diferença significativa que faça com que eles forneçam melhores características de pulverização. Cabe ressaltar que as aplicações foram feitas de forma isolada, sendo que em campo os mesmos herbicidas são aplicados em misturas, colaborando para a instabilidade da calda de pulverização.

4.4.2 Relação entre os herbicidas sistêmicos e de contato estudados

Abaixo segue a comparação dos parâmetros estudados para os herbicidas separados em ação sistêmica e de contato (Figura 16). Os resultados mostraram que em parâmetros de tecnologia de aplicação os herbicidas estudados não apresentaram diferença significativa, independente do modo de ação que são recomendados.

Figura 16 - Comparação dos parâmetros estudados em aplicação com a ponta de jato plano de faixa estendida (XR) para os herbicidas de ação sistêmica e de contato. Para a comparação dos resultados, os traços horizontais representam os valores médios e as linhas verticais indicam o Intervalo de Confiança ao nível de 95%.



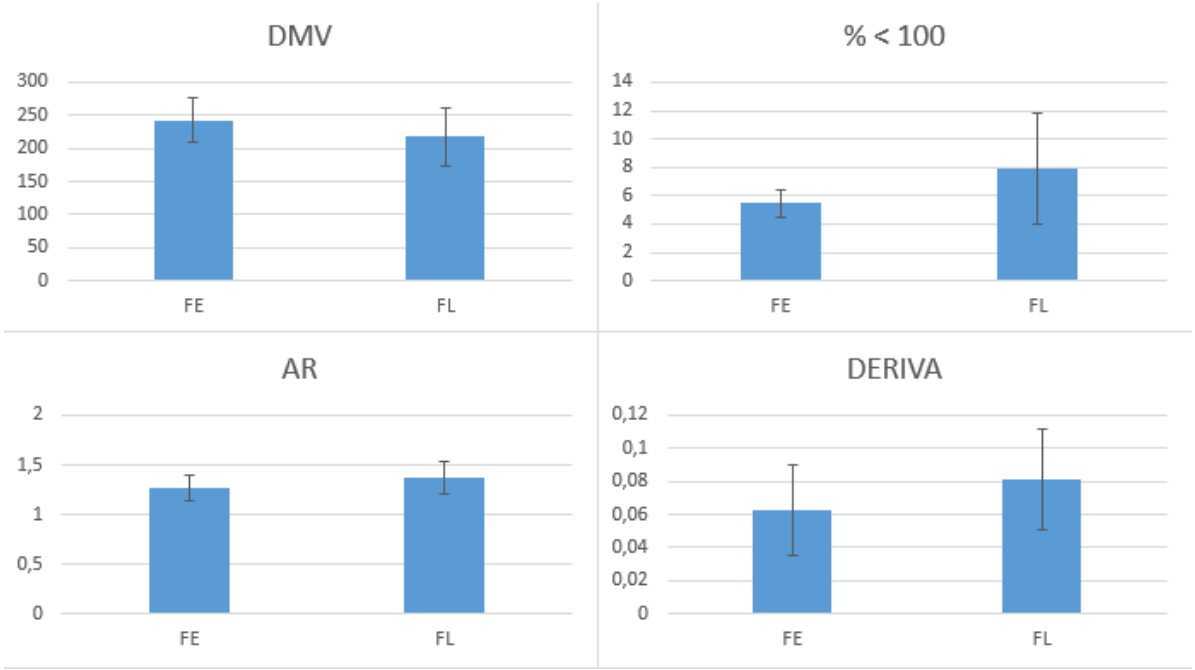
Autores como Gwynne; Murray (2005); Lein (2004); Markwell (2006) citam que herbicidas de contato tem alta necessidade de tecnologia de aplicação para ter eficiência em sua pulverização, devido ao fato de somente terem ação satisfatória em locais diretamente atingidos pelas gotas, diferentemente dos herbicidas sistêmicos, que possuem capacidade de se translocar no interior das plantas. Peterson et al. (2001) ainda destacam que é essencial em uma aplicação de herbicidas de contato que a aplicação seja mais uniforme possível, pois este grupo de herbicidas não possui ação nos sistemas radiculares das plantas com necessidade de controle, podendo

estas, devido à má-distribuição da pulverização, iniciar novos ciclos de crescimento subterrâneo.

4.4.3 Relação entre os herbicidas graminicidas e latifolicidas estudados

Segunda a Figura 17, não houve diferença significativa para nenhum dos herbicidas testados nos parâmetros do estudo, em aplicações isoladas.

Figura 17 - Comparação dos parâmetros estudados em aplicação com a ponta de jato plano de faixa estendida (XR) para os herbicidas graminicidas (FE) e latifolicidas (FL). Para a comparação dos resultados, os traços horizontais representam os valores médios e as linhas verticais indicam o Intervalo de Confiança ao nível de 95%.



Seguindo o objetivo do estudo, nota-se que os resultados mostram mais uma vez que também não existe diferença significativa entre os parâmetros de tecnologia de aplicação para os herbicidas testados em aplicações isoladas, contradizendo o que propõem autores como Gwynne; Murray (1985); Peterson et al. (2001); Vidal (1997). Os autores citam que plantas daninhas de folha estreita, conhecidas como gramíneas, apresentam ponto de crescimento em locais de difícil acesso, existindo então a necessidade de melhor uniformidade de distribuição das gotas pulverizadas, fato não observado no presente estudo.

Pode-se observar também que não foram encontradas diferenças significativas entre os parâmetros estudados para os herbicidas, independentemente do mecanismo de ação, de sua ação nas invasoras e de sua predominância de controle, significando que em aplicações isoladas os herbicidas testados podem não apresentar boas características de pulverização, sendo necessário, além de mais estudos na área envolvendo mais herbicidas, estudos sobre a associação de moléculas herbicidas com aditivos ou adjuvantes para que sejam encontradas as características desejáveis nas as diferentes recomendações.

4.4.4 Relação de solubilidade e adsorção dos herbicidas pré-emergentes estudados

Abaixo segue o Quadro 4, apresentando a identificação dos herbicidas, seus respectivos ingredientes ativos, sua solubilidade e classificação, seu teor de adsorção (KoC) e classificação e seu diâmetro mediano volumétrico (DMV, em micrometros). É possível notar que o herbicida Goal possui maior DMV, menor mobilidade no solo e menor solubilidade, sendo inversamente proporcional às características do Combine.

Quadro 4 - Produto comercial, ingrediente ativo, solubilidade e classificação, KoC e classificação e DMV obtidos no trabalho dos herbicidas pré emergentes, segundo a Universidade de Hertfordshire (2013).

Herbicida	i.a.	Solubilidade (mg/L)	Classificação	KoC (mL/g)	Classificação	DMV (µm)
Goal	Oxifluorfem	0,1	Baixa	100000	Imóvel	245,4
Combine	Tebuthiuron	2570	Alta	80	Moderadamente Movél	148,21
Scorpion	Flumetsulam	1770	Alta	700	Pouco Móvel	169,9
Spider	Diclosulam	124	Moderada	90	Moderadamente Movél	161,3
Fordor	Isoxaflutole	6,8	Baixa	112	Moderadamente Movél	172,66

Carvalho (2016) cita que herbicidas com baixa solubilidade e alto KoC têm menor tendência de estarem disponíveis no solo e menor capacidade de movimentação. Relacionando os resultados obtidos pelo autor com o presente estudo a tendência é que o herbicida Goal, dentre os pré emergentes testados, deveria apresentar menor

diâmetro de gotas, visando a melhor distribuição no solo. Porém deve-se considerar que o herbicida em questão é pertencente a formulação EC, e segundo Matthews et al. (2014) essa formulação apresenta elevado tamanho de gotas, por contar com surfactantes em sua formulação e com o processo de emulsificação da molécula.

Desta forma pode-se entender que o processo de formulação de uma molécula visando a criação de um produto fitossanitário pode ser pensada apenas de forma a manter a estabilidade do agroquímico e respeitar os parâmetros obrigatórios necessários para o registro e posterior venda do produto. Pode-se considerar que estudos e pesquisas, como o apresentado, são essenciais para o conhecimento de todas as características das moléculas presentes no mercado, e posterior entendimento de como a tecnologia de aplicação pode contribuir e melhorar a eficiência do produto pulverizado.

5 CONCLUSÕES

O espectro de gotas e a deriva da aplicação dos produtos fitossanitários presentes no estudo não influenciam o processo de engenharia de suas formulações.

Os herbicidas formulados com base em emulsões (apresentado no estudo pela formulação EC) apresentaram maiores valores de DMV e menores percentuais de deriva, fortalecendo a relação entre estes fatores.

As moléculas que representam os ingredientes ativos presentes nos herbicidas testados não foram formuladas com objetivo de melhores características de pulverização, como espectro de gotas, deriva ou distribuição no solo.

Os aditivos de formulação dos herbicidas testados não têm propósito de melhorar a eficiência ou segurança de pulverização, podendo ter como objetivo melhorar aspectos fisíco-químicos e regulatórios.

REFERÊNCIAS

AL HEIDARY, M. et al. Influence of spray characteristics on potential spray drift of field crop sprayers: A literature review. **Crop Protection**, Amsterdam, v. 63, p. 120–130, set. 2014. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261219414001604>. Acesso em: 04 jun. 2017.

ANJALI, C. H. et al. Formulation of water-dispersible nanopermethrin for larvicidal applications. **Ecotoxicology and Environmental Safety, Maryland Heights**, v. 73, n. 8, p. 1932–6, nov. 2010. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651310002526>. Acesso em: 14 jun. 2017.

ANTUNIASSI, U. R. Tecnologia de aplicação de defensivos. **Boletim de Pesquisa de Soja**, v. 8, p. 165-177, 2004.

ANTUNIASSI, U.R., BAIO, F.H.R, BIZARI, I.R. Sistema de suporte a decisão para seleção de pontas de pulverização em sistemas de aplicação de defensivos In: V Congresso Brasileiro de Agroinformática, 2005, Londrina/PR. **Agronegócio, Tecnologia e Inovação**. Londrina/PR: SBI-Agro, 2005. v.1. p.1 – 2

ANTUNIASSI, U. R.; BAIO, F. H. R; VARGAS, L.; ROMAN, E. S Tecnologia de aplicação de defensivos. In: **Manual de manejo e controle de plantas daninhas. Passo Fundo: Embrapa Trigo**, 2008. p. 174-175.

ANTUNIASSI, U.R.;Conceitos da tecnologia de aplicação de defensivos para a cultura da soja. **Boletim de Pesquisa de soja**. Rondonópolis,v.13, p.299-317, 2009.

ANTUNIASSI, U. R. Tecnologia de aplicação: Conceitos básicos, inovações e tendências. In: TOMQUELSKI, G. V. et al. (Eds.). **Publicações Fundação Chapadão:** Soja e Milho 2011/2012. 5 ed. Chapadão do Sul: Fundação Chapadão. 2012. cap. 16, p. 113-139.

BALAN, M. G.; ABI SAAB, O. J. G.; SASAKI, E. H. Distribuição da calda na cultura da videira por turboatomizador com diferentes configurações de pontas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 731-738, 2006.

BAUER, F. C.; RAETANO, C. G. Distribuição volumétrica de calda produzida pelas pontas de pulverização XR, TP e TJ sob diferentes condições operacionais. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 275-284, 2004.

BERNARDES, L. A granulação de Materiais. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 11, n. 3, p.17-23, maio/jun., 2006. Disponível em: <http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v11n03/a03v11n3a325.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2017.

BOSCHINI, L. et al. Avaliação da deposição da calda de pulverização em função da vazão e do tipo de bico hidráulico na cultura da soja. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.30, n.2, p.171-175, 2008.

BUTLER ELLIS, M. C.; TUCK, C. R. How adjuvants influence spray formation with different hydraulic nozzles. **Crop Protection**, Amsterdam, v. 18, n. 2, p. 101–109, mar. 1999. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261219498000970>. Acesso em: 08 jul. 2017.

CARVALHO F. K. Viscosidade, tensão superficial e tamanho de gotas em caldas com formulações de inseticidas e fungicidas. 64f., 2016. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura). **Faculdade de Ciências Agronômicas**, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2016.

CHAIM, A. **História da pulverização.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1999. 17p. (Embrapa Meio Ambiente, Boletim de Pesquisa).

CHECHETTO, R. G. et al. Influence of spray nozzles and adjuvants in drift reduction potential in wind tunnel. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 1, p.37-46, 2013.

CHECHETTO, R. G. Potencial da deriva em função de adjuvantes e pontas de pulverização e diferentes alvos. 70f., 2011. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura). **Faculdade de Ciências Agronômicas**, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2011.

CHRISTOFOLETTI, J. C. Considerações sobre a deriva nas pulverizações agrícolas e seu controle. **São Paulo: Teejet South América**, 1999. p. 15.

COMBELLACK, J. H. Loss of herbicides from ground sprayers. **Weed Research**, West Sussex, v. 22, n. 4, p. 193–204, ago. 1982. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-3180.1982.tb00164.x>. Acesso em: 13 jul. 2017.

COURSHEE, R. J. Application and use of foliar fungicides. In: TORGESON, D. C. (Ed.) **Fungicide: an advanced treatise**. New York: Academic Press, 1967. p.239-86.

CUNHA, J. P. A. R. Simulação da deriva de agrotóxicos em diferentes métodos de aplicação. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 4, p. 487-493, out-dez, 2008.

CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; VIEIRA, R. F. Avaliação de pontas de pulverização hidráulicas na aplicação de fungicida em feijoeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 5, p. 10691074, set-out, 2005.

CUNHA J. P. A. R.; ALVES G. S. Características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. **Interciencia**, v. 34 n. 9, 2009.

DAMALAS, C. A.; ELEFTHEROHORINOS, I. G. Pesticide exposure, safety issues, and risk assessment indicators. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Basel, v. 8, n. 5, p. 1402–19, maio, 2011. Disponível em: <http://www.mdpi.com/1660-4601/8/5/1402/htm>. Acesso em: 23 jun. 2017.

DE SCHAMPHELEIRE, M.et al. Effects on pesticide spray drift of the physicochemical properties of the spray liquid. **Precision Agriculture**, v. 10, n. 5, p. 409-420, 2007.

DOWNER, R. A. et al. Temperature effects on atomization by flat-fan nozzles: Implications for drift management and evidence for surfactant concentration gradients. **Atomization and Sprays**, Danbury, v. 8, n. 3, p. 241–254, 1998. Disponível em: <http://www.dl.begellhouse.com/journals/6a7c7e10642258cc,267a1b17632d5b79,380380f871142e09.html>. Acesso em: 9 jul. 2017.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Code of Conduct on the Distribution and Use of Pesticides, 2014. 2 p. Disponivel em:<**http://www.fao.org/docrep/015/i2763e/i2763e17.pdf>. Acesso em: 07 jun. 2017.

FISHEL, F. M. Pesticide formulations. Agronomy Department, Florida **Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences**, University of Florida, 2013, 13 p. Disponível em: <http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/PI/PI23100.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2017.

FOX, R. W.; MCDONALD, A. T. **Introdução à mecânica dos fluidos**, 4ed., Rio de Janeiro: LTC, 1998. 662p.

FREDONIAGROUP. The Fredonia Group. **World Pesticides**: Industry Study with Forecasts for 2014 & 2019, ago. 2010. Cleveland: Fredonia Group, 2010. 8 p. Disponível em:<http://www.freedoniagroup.com/brochure/26xx/2664smwe.pdf>. Acesso em 10 jun. 2017.

FRITZ, B. K.; HOFFMANN, W.C.; BAGLEY, W. E. Effects of spray mixtures on droplet size under aerial application conditions and implications on drift. **Applied Engineering in Agriculture**. Vol. 26(1): 21-29. 2012, American Society of Agricultural and Biological Engineers. ISSN 0883-8542.

GANDOLFO, M. A. et al. Effect of working pressure at different spray nozzles on drift quantification in wind tunnel. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v. 34, n. 1, p.66-73, 2014.

GAZZIERO, D. L. P. et al. Deposição de glyphosate aplicado para controle de plantas daninhas em soja transgênica. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 173-181, 2006.

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

GIMENES, M. J. et al. Dispersion and evaporation of droplets amended with adjuvants on soybeans. **Crop Protection**, Amsterdam, v. 44, p. 84–90, 2013. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S026121941200302X>.

HANKS, J. E. Effect of drift retardant adjuvants on spray droplet size of water and paraffinic oil applied at ultralow volume. **Weed Technology**, Champaign, v. 9, n. 2, p. 380-384, abr./jun. 1995.

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

HIMEL C. M., LOATS H., BAILEY G. W., 1990. Pesticide sources to the soil and principles of spray physics. **In Pesticides in the Soil Environment**. SSSA Book Series 2. Soil Science Society of America, Madison, WI, pp 7–50.

HINKLE, S. E. Modified empirical drag coefficient for water drop ballistics. **Applied Engineering in Agriculture**, St Joseph, v. 7, n. 1, p. 75–80, 1991. Disponível em: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0025807235&partnerID=tZOtx3y1>.

HOFFMANN, W. C. et al. Droplet-size characterization of handheld atomization equipment typically used in vector control. **Journal of the American Mosquito Control Association**, Mount Laurel, v. 23, n. 3, p. 315–20, set. 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2987/8756-971X(2007)23[315:DCOHAE]2.0.CO;2>. Acesso em: 23 jun. 2017.

KIRK, I. W. Spray mix adjuvants for spray drift mitigation. **ASABE** Paper No. AA03-003. St. Joseph: ASABE, 2003.

KISSMANN, K. G. Rumos e tendências da pesquisa em tecnologia de aplicação de agrotóxicos: A visão da indústria química. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 2., 2001. Jundiaí. **Anais**... Jundiaí: Instituto Agronômico de Campinas, 2001.

KNOWLES, D. A. Formulation of agrochemicals. In: **Chemistry and technology of agrochemical formulations**. Kent: Spring Science +Business Media. p. 41-79. 1998.

KNOWLES, A. Recent developments of safer formulations of agrochemicals. The Environmentalist, New York, v. 28, n. 1, p. 35-44, 2008. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10669-007-9045-4>. Acesso em: 21 jul. 2017.

LUCHINI, L. C.; ANDRÉA, M. M. Comportamento ambiental de agroquímicos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, Suplemento, p. 33-35, 2000.

MAGDALENA, J. C. et al. Pasado y presente de la aplicación de agroquímicos em agricultura. In: MAGDALENA, J. C. et al. **Tecnología de aplicación de agroquímicos.** Rio Negro: CYTED, 2010. p. 17-26.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agrotóxicos:** Informações Técnicas, Brasília: MAPA, 2014 Disponível em:<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/agrotoxicos/informacoes-tecnicas>. Acesso em 10 jun. 2017.

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

MATTHEWS, G. A. **Pesticide application methods**. 3. ed. Oxford: Blackwell Science, 2000. 432p. (b).

MATTHEWS, G. A.; BATEMAN, R.; MILLER, P. Formulation of pesticides. In: **Pesticide application methods**. 4ed. Oxford: John Wiley & Sons, 2014. p. 63–89.

MAYBANK, J.; YOSHIDA, K.; GROVER, R. Spray drift from agricultural pesticide applications. **Journal of the Air Pollution Control Association**, Pittsburgh, v. 28, n. 10, p. 1009–1014, out. 1978. Disponível em: <http://www.mendeley.com/research/spray-drift-agricultural-pesticide-applications/>. Acesso em: 13 jul. 2017.

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

MILLER, P. C. H. The measurement of spray drift. **Pesticide Outlook**, Burnham, v. 14, n. 5, p. 205-209, nov. 2003. Disponível em: <http://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2003/po/b311466j>. Acesso em: 13 jul. 2017.

MINGUELA, J. V.; CUNHA, J. P. A. R. Manual de aplicação de produtos fitossanitários. Viçosa: **Aprenda Fácil**, 2010, p.52-64.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Agrotóxicos**. Brasília: MMA, 2014. Disponível em:<http://www.mma.gov.br/seguranca-quimica/agrotoxicos>. Acesso em 07 jun. 2015.

MOTA, A. A. B. Quantificação do ar incluído e espectro de gotas de pontas de pulverização em aplicações com adjuvantes. 74f. Dissertação (Mestrado em energia na agricultura) **- Faculdade de Ciências Agronômicas**, Universidade Estadual Paulista - UNESP – Campus Botucatu. 2011.

NUYTTENS, D. et al. Experimental study of factors influing the risk of drift from Field sprayers, Part 1: Meteorological conditions. In: ALEXANDER, A. et al (Orgs). **Aspects of applied Biology:** International advances in pesticides application. 77 ed. Wellesbourn: Association of Applied Biologists, 2006b, v. 2, p. 321-329.

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

OLIVEIRA, R. B.; ANTUNIASSI, U. R. Caracterização física e química e potencial de deriva de caldas contendo surfactantes em pulverização agrícola. Energ. Agric., Botucatu, vol. 27, n.1, Janeiro-Março, 2012, p. 138-149.

OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; BRANDÃO FILHO, J. U. T.; CALLEGARI, O.; PAGLIARI, P. H.; CAVALIERI, S. D.; FRAMESQUI, V. P.; CARREIRA, S. A. M.; ROSO, A. C. Efeito de subdoses de 2,4-d na produtividade de uva Itália e suscetibilidade da cultura em função de seu estádio de desenvolvimento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.esp., p.35-40, jan. 2007.

OZKAN, H. E. Effects of major variables on drift distances of spray droplets. **Food, Agricultural and Biological Engineering.** AEX 525-98, 1998.

PONTZEN, P.; VERMEER, A.W.P. New Formulation Developments. In. JESCHKE, J. et al. (Ed.). **Modern Methods in Crop Protection Research**, 1. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. Weinheim, 2012, p. 219- 248.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: Fealq, 2009. 451p.

PRADO, E. P. et al. Velocidade do ar em barra de pulverização na deposição da calda
fungicida, severidade da ferrugem asiática e produtividade da soja. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 36, n. 1, p.45-50, Mar. 2010.

RAETANO, C. G.; Introdução ao estudo da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Aldeia Norte, Botucatu-SP, 2011. p. 15-26.

SANDERSON, R. et al. Relative drift potential and droplet size spectra of aerially applied propanil formulations. **Crop Protection**, Guildford, v. 16, n. 8, p. 717-721, 1997.

STAINIER, C. et al. Droplet size spectra and drift effect of two phenmedipham formulations and four adjuvants mixtures. **Crop Protection**, Amsterdam, v. 25, n. 12, p. 1238–1243, 2006. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0261219406000627>.

TADROS, T. F. Colloidal aspects of pesticides and pharmaceutical formulations - an overview. **Pesticide Science**, v. 26, p. 51–77, 1989.

THISTLE, H. The role of stability in fine pesticide droplet dispersion in the atmosphere: a review of physical concepts. **Transaction of the ASAE,** Saint Joseph, v. 46, p. 1409–1413, 2000.

VILLALBA, J.F.; DAGOBERTO, M.; COSTA, N.V.; DOMINGOS, V.D. Deposição da calda de pulverização em cultivares de soja no estádio R1. **Ciência Rural***,* Santa Maria, v.39, n.6, p.1.738-1.744, 2009.